Державна служба
геології та надр
України

ДКЗ

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Інститут геологічних наук Національної академії наук України
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
Львівський національний університет імені Івана Франка
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

2026

МАТЕРІАЛИ КОНФЕРЕНЦІЇ

XI міжнародна науково-практична конференція

НАДРОКОРИСТУВАННЯ В УКРАЇНІ. ПЕРСПЕКТИВИ ІНВЕСТУВАННЯ

5-9 жовтня 2026, м. Львів, Україна

XI international scientific-practical conference

SUBSOIL USE IN UKRAINE. PROSPECTS FOR INVESTMENT

5-9 october 2026, Lviv, Ukraine

ОДИНАДЦЯТА МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ

**"НАДРОКОРИСТУВАННЯ В УКРАЇНІ.
ПЕРСПЕКТИВИ ІНВЕСТУВАННЯ"**

Україна, м. Львів, 5-9 жовтня 2026 р.

МАТЕРІАЛИ КОНФЕРЕНЦІЇ

ELEVENTH SCIENTIFIC-PRACTICAL CONFERENCE

**"SUBSOIL USE IN UKRAINE.
PROSPECTS FOR INVESTMENT"**

Ukraine, Lviv, 5-9 October 2026

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА ГЕОЛОГІЇ ТА НАДР УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНА КОМІСІЯ УКРАЇНИ ПО ЗАПАСАХ КОРИСНИХ КОПАЛИН

Інститут геологічних наук Національної академії наук України
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
Львівський національний університет імені Івана Франка
Івано-Франківський національний технічний університет нафти та газу

ОДИНАДЦЯТА МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ

"НАДРОКОРИСТУВАННЯ В УКРАЇНІ. ПЕРСПЕКТИВИ ІНВЕСТУВАННЯ"

Україна, м. Львів, 5-9 жовтня 2026 р.

ELEVENTH SCIENTIFIC-PRACTICAL CONFERENCE

"SUBSOIL USE IN UKRAINE. PROSPECTS FOR INVESTMENT"

Ukraine, Lviv, 5-9 October 2026

КИЇВ – 2026

ШАНОВНІ УЧАСНИКИ XI МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ «НАДРОКОРИСТУВАННЯ В УКРАЇНІ. ПЕРСПЕКТИВИ ІНВЕСТУВАННЯ»!



Радий вітати вас на відкритті одинадцятої, вже традиційної, але надзвичайно вагомої міжнародної науково-практичної конференції. Мені приємно, що попри всі виклики воєнного часу, наша професійна спільнота збирається тут, у Львові, щоб окреслити майбутнє мінерально-сировинного комплексу України. Хочу висловити щиру вдячність команді Державної комісії по запасах за високий рівень організації цього заходу, який з року в рік слугує головним майданчиком для діалогу між державою, наукою та бізнесом.

Сьогодні тема нашої зустрічі — **«Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування»** — звучить як ніколи стратегічно й безкомпромісно. Українські надра — це не просто ресурсний потенціал. Це один із наріжних каменів нашої національної безпеки, основа майбутнього економічного відновлення держави та ключовий елемент інтеграції України до міжнародних промислових ланцюжків.

Світ стрімко змінюється, і разом із ним трансформуються пріоритети. На перший план виходять **критична сировина та стратегічні корисні копалини**. Літій, кобальт, нікель, графіт, титан, рідкісноземельні елементи — це те, без чого неможлива глобальна зелена перехідна економіка та високотехнологічне виробництво. Україна володіє унікальними запасами цих ресурсів, і наше спільне завдання з ДКЗ та міжнародними партнерами — відкрити цей потенціал для прозорого, безпечного та ефективного інвестування.

Державна служба геології та надр України продовжує свій незворотний курс на **реформування галузі, забезпечення її прозорості, відкритості та доступності**. Ми послідовно ліквідуємо бюрократичні бар'єри, діджиталізуємо процеси — від ведення Державного геологічного порталу до проведення електронних аукціонів. Наша мета — створити для інвестора чіткі, зрозумілі та європейські правила гри, де кожен крок є прогнозованим і захищеним законом.

У цьому контексті професійна геолого-економічна оцінка, адаптація наших підходів до міжнародних стандартів звітності та підрахунку запасів — це саме ті інструменти, які перетворюють геологічну інформацію на зрозумілий для міжнародного капіталу актив. Кроком уперед є і наукове визнання конференції, зокрема можливість індексації наукових праць у міжнародних базах даних, що підтверджує високий статус української геологічної школи.

Ці дні насиченої роботи, фахових дискусій та обміну досвідом та напрацьовані тут рекомендації ляжуть в основу нових нормативно-правових актів, інвестиційних проєктів та урядових рішень.

Бажаю всім учасникам XI Міжнародної конференції плідного діалогу, розширення партнерських зв’язків, сміливих ідей та вагомих інвестиційних контрактів!

Дякую за вашу працю, за віру в Україну та за ваш внесок у наше спільне економічне майбутнє!

З повагою
Т.в.о. голови Державної служби геології та надр України **Сергій ВЛАСЕНКО**

УДК 504+550+553+556

Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування. Матеріали Одинадцятої міжнародної науково-практичної конференції (5-9 жовтня 2026 р., м. Львів). Державна комісія України по запасах корисних копалин (ДКЗ). К.: ДКЗ, 2026. – 815 с.

© Державна комісія України по запасах корисних копалин, 2026

ЗМІСТ

1 РЕФОРМУВАННЯ СФЕРИ ВИКОРИСТАННЯ НАДР: ПРОЗОРІСТЬ, ВІДКРИТІСТЬ, ДОСТУПНІСТЬ 13

Вижва С., Чепіль П., Лазарук Я. Через відродження прикладної науки до стрімкого розвитку геологічної галузі 14

Баряцька Н.В., Сафронова Н.Г. CRIRSCO та UNFC: прозорість сфери використання надр 21

Жикаляк М.В., Лукінов В.В. Становлення метановидобувної галузі Донбасу – нереалізовані можливості 26

Коновал В.І. Грошова оцінка привабливості угод про розподіл продукції 32

Колотієвський Р.П. Темп нормотворення у сфері надрокористування України: кількісний аналіз законодавчого процесу, критичні регуляторні прогалини та порівняння зі швидкістю реформ ЄС 35

Середа Р.М. Загальна характеристика адміністративно-правової взаємодії Державної служби геології та надр України з громадською радою 43

Петренко А.С. Нова ера надрокористування в Україні: гармонізація запасів і ресурсів корисних копалин зі стандартами РКООН-2019 47

Петрушенко Е.С., Гадяцька К.П. Оновлення інвентаризації зсувів та інших небезпечних екзогенних геологічних процесів як основа картування сприйнятливості території 50

Вдовиченко А.І., Калинович В.М., Ремезова О.О., Ярошовець К.А. Унормування термінології в геології 57

Грицанюк В.В. Роль територіальних громад у забезпеченні соціально відповідального надрокористування в Україні 61

Кулик М.С., Бишевич Є.В. Кримінально-процесуальні ризики надрокористування та їх вплив на інвестиційний потенціал мінерально-сировинної бази України 67

Петрокушин Р.Є., Саломія Г., Розкриття потенціалу надр та інвестицій завдяки захищеній, єдиній та ШІ-орієнтованій екосистемі даних 75

Нецький О.В., Паюк С.О., Лагода О.А. Державна експертиза та оцінка запасів корисних копалин як інструмент зниження геологічних та інвестиційних ризиків 78

Жикаляк М.В., Бондар О.П. Проблеми сталого розвитку мінерально-сировинної бази України 86

2 КРИТИЧНІ ТА СТРАТЕГІЧНІ КОРИСНІ КОПАЛИНИ: ГЛОБАЛЬНІ ПЕРСПЕКТИВИ ДЛЯ УКРАЇНИ 91

Федоришин Ю.І., Наумко І.М., Бацевич Н.В. Ліквацийно-магматичний механізм формування самородної міді у Волинських трапах 92

Харченко М.В. Фактори прогнозу нафтогазоносності тектонічно екранованих пасток вуглеводнів 95

Василенко А.П., Сукач В.В., Сюмар Н.П. Сучасний стан мінерально-сировинної бази мідних покладів в Україні та перспективи їх освоєння як об'єктів критичної сировини 101

Проць В., Маяцький О., Булавка Л., Ярощук Н. Приховані скарби Закарпаття: перспективи унікального розсипного зрудніння Квасівського району 106

Андрєєва О.О., Бучинська В.О. Визначення критичності мінеральної сировини: критерії та національні підходи 111

Бельський В.М., Хевпа З.З., Кульчицька Г.О., Швайка І.А., Швайка І.Д., Проскурка Л.І. Вміст літію у солях та розсолах Стебницького родовища 118

Demikhov Yu., Verkhovtsev V., Dudar T., Musych O. Some environmental aspects of mineral resources extraction from uranium albitites deposits in Ukraine 124

Ковальчук А. Критична та стратегічна мінеральна сировина України: застосування геоінформаційних технологій для прогнозування перспективних територій 126

Кузьманенко Г.О., Охоліна Т.В., Ковальчук А.С. Сабарівське родовище рідкісних земель (Верхнє Побужжя): геологічна будова та перспективи освоєння 130

Курило М.М., Котенко О.І. Техногенні об'єкти як вторинне джерело критичної сировини: особливості геолого-економічної оцінки 134

Курило М.М. Від запасів критичних корисних копалин до життєздатного видобувного проєкту: українські особливості та виклики 140

Ложніков О.В. Підвищення ефективності землезбереження при розробці родовищ титан-цирконієвих руд шляхом впровадження технологій замкнутого циклу 146

Makarenko O.M. The role of the tectonic factor in the spatial distribution of suffosion depressions and the possibilities of fault zone reconstruction and their potential use for predicting deep-fluid migration pathways 151

Петровський О., Петровська Т. Нова парадигма картування комерційних покладів мінеральної сировини на прикладі покладів хромітових руд Олися-Мусюрського масиву приполярного Уралу за результатами спільної інверсії гравіметричних та геологічних даних без регулярпзапії та їх комплексування з даними магніторозвідки 154

Сукач В.В., Вовк К.В., Бондаренко С.М., Сьомка В.О., Бородиня Б.В., Донський М.О. ІГМР НАН України у європейському дослідницькому просторі: геологічне вивчення критичної мінеральної сировини України у проєктах програми Горизонт Європа GSEU та BLOOM 162

Хоменко В.М., Черниш Д.С. Кітянлінгіт Пержанського родовища 169

Шлапінський В.Є., Павлюк М.І., Лазарук Я.Г., Савчак О.З. Перспективи нафтогазоносності Либохорської структури Кросненського покриву 172

Дяків В.О., Бурлуцький М.С., Бучацька Г.М., Панченко А.В. Основні чинники формування зруденінь рідкісних, розсіяних та рідкісноземельних хімічних елементів у вугільних родовищах світу та України 176

Курило М.М., Фалькович О.Л. Технологічна трансформація вилучення критичних компонентів: від лабораторних досліджень Ta-Nb руд до пілотної фабрики проєкту BLOOM 194

3 УПРАВЛІННЯ РЕСУРСАМИ КОРИСНИХ КОПАЛИН ДЛЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ 199

Бобров О., Гейченко М., Мєнасова А., Яськевич Т. Геолого-економічний аудит запасів/ресурсів корисних копалин України за міжнародними стандартами 200

Михалевич І.Л., Владика В.М., Штереб В.В., Бодлак В.П. Особливості оцінки нових перспективних площ з врахуванням даних карти фонду структур та щільності ресурсів в межах Західного НГР 204

Віхоть Ю.М., Кріль С.Я. Методика польових газогеохімічних досліджень природного водню 207

Коваль В.І. Композиційне моделювання покладів вуглеводнів у програмному комплексі ATLAS: від рівняння стану до запасів за PRMS 211

Прокопенко О.С., Фалькович О.Л., Оринчак О.М. Продукти збагачення корисних копалин та їх місце у сировинному ланцюгу 218

Магир Н.Т., Литвинюк С.Ф. Раціональне використання корисних копалин як основа сталого розвитку 224

Петровський О.П. 20 років співпраці з АТ «Укргазвидобування»: від очікуваних збитків діючої парадигми картування сейсмічних об'єктів до комерційного успіху буріння, ресурсів і прибутку нової парадигми картування комерційних покладів вуглеводнів 230

Поп С.С., Федів І.Я. Корисні копалини Закарпатської області: сучасний стан та перспективи оптимізації їх використання 241

Tsurkan O.I., Babov K.D., Morachov O.V. The state cadastre of natural therapeutic resources in evidence-based balneology and its interaction with the national health service of Ukraine 245

Боднарук Б.Р., Матківський С.В. Стохастичні і детерміністичні методи моделювання покладів вуглеводнів для визначення залишкового потенціалу родовищ на пізній стадії розробки 248

Філатов В.Ю. Мельник Л.П. Штучний інтелект у нафтогазовій галузі: безальтернативне майбутнє чи модний хайп? 251

Саприкін В.Ю., Черевко І.А., Романченко О.Д. Підземна спадщина України: виклики збереження Варязьких печер та їх гідрофізичний моніторинг 253

Чертова Д.С. Проблеми номенклатури магматичних порід, що відносяться до корисних копалин загальнодержавного значення 259

4 ІНВЕСТИЦІЙНИЙ ПОТЕНЦІАЛ МІНЕРАЛЬНО-СИРОВИННОЇ БАЗИ УКРАЇНИ 264

Дворецький Р.Б., Голуб О.Г., Матвієнко А.М. Оцифрування геологічних фондів як стратегічний напрям збереження первинної геологічної інформації та підвищення інвестиційної привабливості надрокористування України 265

Стрижак В.П., Гаврилюк Р.О. Перезапуск геологорозвідувальних робіт за рахунок коштів державного бюджету в умовах воєнного стану в межах загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 року 270

Vashchenko I. Integrated modelling and thermodynamic optimisation of heavy oil recovery as a pathway to Ukraine's energy independence 277

Голтуренко І.П., Волобаєв І.І. Перспективи розвитку мінерально-сировинної бази України, на прикладі родовищ мармурів та доломітів Рахівського району Закарпатської області 280

Гринів С.П. Літологічні докази синседиментаційних тектонічних розломів у Передкарпатському солеродному басейні 285

Михайловський І.З., Андрейчук М.М., Дучук С.В. Особливості оцінки ресурсної бази баден-сарматської газоносної товщі в зоні зчленування Самбірської покрову із Крукеницькою западиною 290

Книш І.Б., Михалюк М.В. Перспективи ресурсозбереження та використання відвальних порід ділянки надр «Зарічна Техногенна» як техногенної мінеральної сировини 297

Петришин В.Ю. Досвід геологічного вивчення, видобування, збагачення та перспективи промислової експуатації родовищ і рудопроявів каїніт-лангбейнітових калійно-магнієвих руд у світі 304

Піскун І.А. Інвестиційний потенціал Віровського родовища вапняку в контексті сучасних тенденцій мінерально-сировинного сектору та відбудови України 315

Струтинська К.С. Гідрогеологічні умови освоєння Носачівського родовища апатит-ільменітових руд 321

Паюк С.О., Соболь В.В., Міщенко Л.О., Гоцинець О.В., Сімаченко Г.В. Перспективи геологорозвідувальних робіт на нафту і газ в аспекті змін в Класифікації запасів та ресурсів корисних копалин 327

5 МЕТОДИКА І ПРАКТИКА ГЕОЛОГО-ЕКОНОМІЧНОЇ ОЦІНКИ РОДОВИЩ КОРИСНИХ КОПАЛИН ЗА РІЗНИМИ КЛАСИФІКАЦІЙНИМИ СИСТЕМАМИ 332

Сафронова Н.Г., Баряцька Н.В., Сергеєва С.В. Стандартні підходи до забезпечення та контролю якості (QA/QC) та їх застосування для верифікації історичних геологічних даних 333

Дяків В.О., Лаба М.М., Удуд О.Р. Особливості геологічної будови родовища андезитів та попутних корисних копалин Кам'яницьке-2 (Закарпатська обл.): чи можливо провести детальну геолого-економічну оцінку (ГЕО-1) без геологічного вивчення і дослідно-промислової розробки? 339

Кашуба Г.О., Башкіров Г.Л., Каралаш А.Р. Створення капілярної моделі електропровідності порід-колекторів (геоелектрична модель трьох вод) 349

Назаренко М.В., Кебал Я.В. Досвід застосування K-MINE для звітності за Національною класифікацією, JORC, NI 43-101 та S-K 1300 357

Кебал Я.В., Кебал А.О. Рекультивація при відкритій розробці родовищ: розрахунок на цифровій моделі та врахування витрат у геолого-економічній оцінці 364

Король Н.О., М.В. Назаренко, Мороз О.В. Трансформація системи оцінки та класифікації мінеральних ресурсів в Україні: геостатистичні методи та міжнародні принципи звітності 371

Курило М.М., Андрєєва О.О. Проєктна зрілість у системі UNFC: оцінка видобувних проєктів 380

Кондрат О., Матіїшин Л. Узгодження об'ємного підрахунку запасів газу з матеріальним балансом для виявлення незалучених до розробки зон 386

Головачов О.С.,. Михайлишин Б.І. Вибір об'єктів під ГРП в умовах Дніпровсько-Донецької западини 392

Михайлів І.Р., Шимановська Т.Я., Стиславська А.М. Цифровізація архівних геолого-геофізичних матеріалів як основа відтворення геологічної будови родовища нафти і газу 395

Пащенко О.А. Прогнозування зношування породоруйнівних елементів при бурінні свердловин та оцінка економічної ефективності вибору інструменту і режиму 402

Сіра Н.В., Левонюк С.М., Мельник В.Т. Методологічні особливості дослідження шламового матеріалу перспективних нафтогазоматеринських порід для оцінки їх генераційного потенціалу 408

Паюк С.О., Соболь В.В., Сімаченко Г.В., Міщенко Л.О., Гоцинець О.В. Проблемні питання формування матеріалів геолого-економічної оцінки вуглеводнів, що подаються на державну експертизу та оцінку 414

Liventseva H. Refinement of geothermal zoning of the Transcarpathian inner depression based on geothermal play classification 419

Дяків В.О., Бунда О.Р., Улицький О.А., Хевпа З.З. Врахування ризиків активізації карсту для житлової забудови та гірничих об'єктів при геолого-економічній оцінці потенційних родовищ ропи із зони соляного дзеркала карпатського регіону 423

Харченко М.В. Методичні засади палеотектонічного аналізу локальних структур 430

Гіць Ю.С., Дудніков М.С. Управління ресурсною базою чи облік запасів: які виклики ставить PRMS перед українським надрокористуванням 436

Бала В.В., Паюк С.О., Бала Г.Р. Практика верифікації геопросторових даних при геолого-економічній оцінці родовищ корисних копалин 443

Соболь В.В., Паюк С.О., Гетьман О.В. Сучасні аспекти застосування класифікаційних систем оцінки запасів та ресурсів вуглеводнів в Україні 450

6 ЕНЕРГЕТИЧНА НЕЗАЛЕЖНІСТЬ УКРАЇНИ. НАРОЩУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ДЕРЖАВИ 455

Іванов Є.А. Поклади бурого вугілля в Західному регіоні України: історія, сучасний стан і перспективи видобування 456

Вижва С.А., Бенько В.М., Бурдейний Т.О., Круглик В.М. Перспективи збільшення ресурсів вуглеводнів Дніпровсько-Донецької западини за рахунок виявлення покладів неантиклінального типу 465

Дмишко О., Багнюк М., Костик Р. Особливості розробки покладів газу з низьким газонасиченням порід-колекторів 471

Гафич І.П. Перспективи залучення інвестицій у розвідку глибокозалягаючих відкладів ДДЗ для забезпечення енергетичної безпеки 475

Власенко Н.Р., Михайлів І.Р. Проблематика використання наукових полігонів в умовах енергетичної кризи в Україні 478

Карпенко В.М., Худолей В.Ю., Нос О., Пушкарев Є.М. Використання глибоких свердловинних енергетичних систем і технологій для освоєння геотермальних ресурсів на виснажених нафтогазових горизонтах 482

Карпенко В.М., Стефурак Р.І., Чеботаєв Г.В., Вакульчук С.С. Оцінювання перспектив освоєння енергетичних ресурсів глибокими свердловинами у західному регіоні України 487

Кичка О.А. Розвідка нафти і газу в Чорному морі: проблеми, уроки та постаті 491

Савчук В.С., Дементьєва Є.В., Счасний П.В. Вугілля Львівсько-Волинського басейну як складова енергетичної безпеки України 497

Дудніков М.С., Гетьман О.В., Черненко В.М., Качур В.І. Практичні аспекти реалізації укладених АТ «Укргазвидобування» угод про розподіл вуглеводів на етапі геологічного вивчення 500

Генералова Л.В., Генералов А.В., Костюк О.В. Генетична типізація псамітового модуля ямненської світи як критерій прогнозування колекторів вуглеводнів у зовнішніх Карпатах 503

Стефурак Р.І., Худолей В.Ю., Чередниченко Д.О., Петришин А.Ю., Мазурок П.С. Застосування вітчизняних композитних тампонажних систем для якісного кріплення глибоких свердловин і сталого розвитку нафтогазового комплексу України 506

Іваніна А.В., Тузяк Я.М. Фосилії як об'єкт надрокористування 512

Бахшієв Ф.З., Римчук Д.В. Інтенсифікація видобутку вуглеводнів на пізній стадії розробки родовищ: комбіновані методи (ТБХО, ГРП) і невирішені питання 516

Олексюк І.І., Ванчак О.О. Статична 3D модель складнопобудованої насувної тектоніки Передкарпатського прогину як основа оцінки ресурсного потенціалу вуглеводнів 523

Войта М.О., Пащенко О.А. Обґрунтування раціональних параметрів вібросит для вібраційного сепарування бурових промивальних рідин 528

Дучук С.В., Максимук С.В., Галамай А.Р. Перспективи газоносності відкладів Шегині-Волицької площі на основі проведеного комплексу геофізичних і геохімічних досліджень 534

Калиній Т.В., Омельченко В.Г. Геологічна характеристика Старунського геодинамічного полігону 538

Матрофайло М.М., Король М.Д., Лазар В.О. Значення морфологічного аналізу покладів вугілля Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну 542

Осташ О.М., Анікеєв С.Г., Омельченко В.Г. Вивчення глибокозанурених геологічних об'єктів геофізичними дослідженнями 550

Петровський О. Точне картування комерційних покладів вуглеводнів та оцінка дренованих запасів і початкових дебітів свердловин гарантуються спільним геологічно-змістовним розв'язком оберненої 3D-задачі без регуляризації для гравіметричних, свердловинних та сейсмічних даних 554

Рибачук С.А. Особливості хвильової передачі ударного імпульсу бурильною колоною в горизонтальній свердловині 563

Сурков С.В., Костів А.Л., Матвєєв В.А., Кривуля С.В., Пуц Д.В., Разінькова Н.В., Федченко А.В. Особливості підрахунку запасів газових родовищ з нижньопермсько-верхньокамяновугільним поверхом газоносності, які тривалий час перебувають у розробці 566

Федоришин Д.Д., Трубенко О.М., Федоришин С.Д., Трубенко О.О. Геолого-геофізичні основи та перспективи видобутку вуглеводнів із продуктивних порід карбонатного типу 572

Фик М. І., Левонюк С. М., Донський Д.Ф., Ляхде А., Попадинець Т.П. GEO-VAULT: від виснажених родовищ до підземних енергохабів 579

Khomenko V. Use of neural networks for real-time determination of drilling fluid rheological properties 585

Черкащенко М.О., Скорик О.В. Особливості проведення та обробки вертикального сейсмічного профілювання за різних умов реєстрації 590

Капустюк А.А., Радзій В.Ф., Расюн В.Л. Видобуток торфу як основа енергетичної незалежності України 593

Шмідт В.П., Гораль Л.Т. Застосування штучного інтелекту в системі газопостачання: міжнародний та український досвід 601

Граб О.І., Гетманюк Л.Й., Грабовий А.М., Тиркус П.Б. Вплив слабодебітних пропластків на зміну запасів газу на прикладі одного з родовищ Більче-Волицької зони Передкарпатського прогину 604

Соловарова В.В, Яводчак М.І. Дослідження прогнозних показників видобутку газу за результатами матеріально-балансового та гідродинамічного моделювання на родовищах ДДЗ 607

7 ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ РОЗРОБКИ РОДОВИЩ КОРИСНИХ КОПАЛИН 612

Стеценко Б.Д. Мінімізація впливу розробки корисних копалин на довкілля (на прикладі Криворізького північного ГЗК) 613

Дяків В.О., Поп С.С., Павлюк В.І., Яремович М.В. Інженерно-геологічні та гідрогеологічні обмеження при виборі ділянок під будівництво вітроенергетичних установок в межах поширення флішевої формації Карпат 617

Трофимчук О.М., Триснюк В.М. ГІС-моделі комплексної оцінки забруднених територій внаслідок військових дій 625

Кочмар І.М., Карабин В.В. Моделювання атмосферно зумовленого вилуговування заліза з породного відвалу ЦЗФ «Червоноградська» 629

Dzhumelia E., Fechan A., Khoverko Yu. Optical identification and digital monitoring of the state of subsoil-use sites 632

Кононенко А.В., Удалов І.В., Ломакіна О.С., Липовський Д.Д. Аспекти техногенного навантаження в Харківській області у зв'язку з воєнними діями 637

Назаревич Л.Є., Назаревич А.В., Скакальська Л.В., Лівенцева Г.А., Назаревич Р.А. Сейсмічні ризики при експлуатації гідротермальних ресурсів на Закарпатті 642

Слободян Б.І. Радіаційно-гігієнічна оцінка. Калій 649

Слободян Б.І. Радіаційно-гігієнічна оцінка. Уран. Торій 654

Яремчук Я.В., Садовий Ю.В., Городечна Н.В., Галамай А.Р. Дослідження донних відкладів річок Калуського гірничопромислового району як об'єкт геоекологічного моніторингу 659

8 ВИКОРИСТАННЯ ПІДЗЕМНИХ ВОД 666

Бобров О., Гейченко М., Мєнасова А., Яськевич Т. Прогнозування нових джерел захищених питних вод Камишеваško-Торської групи (Україна) 667

Триснюк Т.В., Мосійчук Д.І., Дзюба В.А. Космічний моніторинг безпеки водних екосистем 670

Люта Н.Г., Саніна І.В. Щодо оцінки змін якості підземних вод у результаті експлуатації водозаборів 674

Коєва Х.О., Арабаджи М.В. Збереження біологічної активності мінеральних природних вуглекислих вод під час їх транспортування та використання за межами родовища 679

Варюшкін М.А., Федосєєв П.С., Нецький О.В. Шляхи удосконалення нормативно-правової бази в частині застосування геофізичних методів дослідження свердловин під час геологічного вивчення родовищ підземних вод 682

Кондратюк Є., Лещишин В., Чертков Ю. Про деякі аспекти видобування термальних мінеральних вод у Закарпатті 687

Гаврилюк Р.Б., Колябіна І.Л., Логвиненко О.І., Негода Ю.О. Гідрогеологічні умови в районі впливу колишнього Каховського водосховища 693

Дихман Є.М., Варюшкін М.А., Негода Ю.О. Модернізація підходів до розрахунку зон санітарної охорони підземних вод: від аналітичних методів до гідрогеологічних моделей 700

Дядін Д.В. Перспективи застосування методів ізотопної гідрології для оцінки ресурсів, умов формування та захищеності підземних вод України 706

Ємельянов В.О., Мокієнко А.В. Медична океанологія як наукова основа для розвитку курортних ресурсів прибережних зон морів і океанів 714

Романюк І.М., Колябіна І.Л., Корнієнко Д.І. Аналіз придатності підземних вод для іригаційних цілей в зоні впливу Каховського водосховища на прикладі Нікопольського району 720

Насєдкін Є., Гаврилюк Р., Іванова Г., Lazăr N.-N., Călmuc M., Timofti M. Завислa речовина як носій важких металів у річковій системі Дунаю: сезонна мінливість та фактори впливу 727

Павлюк В.І., Яремович М.В., Бурлуцький М.С. Оптимізації ресурсних витрат при розвідувальних гідрогеологічних вишукуваннях (на прикладі відокремленого масиву тріщинних вод, обмеженого ерозійними врізами, у Скибовій зоні Карпат) 733

Погребний А.Л., Цуркан О.І., Олійник Н.П. Мінеральні підземні природні столові води 739

Руденко Ю.Ф., Стеценко Б.Д,. Гураль О.В., Саприкін В.Ю. Розгляд можливостей організації локального (бюветного) водопостачання м. Бровари під час можливих надзвичайних ситуацій або запровадження воєнного стану 745

Rusakova M., Shuliakova S. The influence of physicochemical characteristics on specific functional groups of microorganisms in water from some wells of Koson deposit of Beregovo district, Transcarpathian region 754

Деревягіна Н.І., Мокрицька Т.П. Оцінка змін фільтраційних властивостей лесових ґрунтів під впливом вибухових навантажень та їх наслідки 757

9 ЗЕЛЕНИЙ ПЕРЕХІД: ВИКЛИКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ 762

Demchuk Yu., Popadynets T., Godschalk B., Veldkamp H. Unlocking geothermal potential for resilient greenhouse heating in Lviv, Ukraine: a pathway to sustainable agriculture and energy security 763

DemchukY., Popadynets T., Bonciani D., Talluri L., Ahern J. From technology potential to industrial deployment: an evidence-based framework for geothermal heating and cooling 768

Стрижак Л.І., Стрижак В.П. Світові тенденції щодо зберігання діоксиду вуглецю в осадових басейнах та потенційні перспективи України у вирішенні даної проблеми **775**

Дубей Н.В. Актуальність та стратегічне значення підземного зберігання діоксиду вуглецю **779**

Віршило І.В., Скрипник В.В., Єлізов Г.О., Поліщук О.С. Вдосконалення нормативно-правової бази – шлях до стимулювання впровадження геотермальних проєктів нафтогазовими компаніями **782**

Середа І.П. Трансформація державної політики в енергетичній сфері України в умовах зеленого переходу та особливого періоду **786**

Лопушанська М.Р., Багінська Л.В., Циганок Л.В. Передпроєктний ГІС-скринінг територій для розміщення об'єктів вітрової енергетики: екологічні, просторові та земельні обмеження **790**

Dzhumelia E., Dzhumelia V., Fechan A. Monitoring of post-industrial mining and chemical sites in the context of the green transition **796**

Kurylo M., Virshylo I., Dokuka O. Integrated assessment of geothermal projects with critical mineral recovery **801**

Kurylo M., Virshylo I., Skripnik V. Risk assessment of geothermal projects: approaches to uncertainty identification and management **805**

Kurylo M., Berenblyum R., Virshylo I., Demchuk Yu. Life cycle assessment as a tool for evaluating ccs projects: methodology and regional scenarios **811**

РЕФОРМУВАННЯ СФЕРИ ВИКОРИСТАННЯ НАДР: ПРОЗОРІСТЬ, ВІДКРИТІСТЬ, ДОСТУПНІСТЬ



УДК (08.4) 553.98(477)

ЧЕРЕЗ ВІДРОДЖЕННЯ ПРИКЛАДНОЇ НАУКИ ДО СТРІМКОГО РОЗВИТКУ ГЕОЛОГІЧНОЇ ГАЛУЗІ

Вижва С.[1], *д. геол. н., проф., чл.-кор. НАН України, s.vyzhva@knu.ua.*
Чепіль П.[2], *к. геол.-мін. н., chepil.home@gmail.com,*
Лазарук Я.[3], *д. геол. н., lazarukjaroslav@gmail.com*
1 – Київський національний університет ім. Тараса Шевченка, м. Київ, Україна,
2 – Державна комісія України по запасах корисних копалин, м. Київ, Україна,
3 – Інститут геології і геохімії горючих корисних копалин НАН України, м. Львів, Україна

Однією із ключових складових сьогоднішнього критичного стану нафтогазової галузі та енергетичної безпеки держави стала ліквідація української галузевої науки. Така ситуація, у т. ч. і через агресію росії, спонукає до невідкладного пошуку дієвих інноваційних шляхів щодо її стабілізації та подальшого розвитку. Запропоновані дієві першочергові завдання та організаційні заходи відродження фундаментальних і прикладних наукових досліджень, як інноваційної складової, з нарощування запасів вуглеводнів для їх подальшого видобутку. Першочерговими об'єктами досліджень вбачаються регенеровані запаси вуглеводнів та перспективні недостатньо вивчені у нафтогазовому відношенні осадові товщі уже відкритих родовищ. Їх успішна реалізація сприятиме стабілізації та значному нарощуванню запасів вуглеводнів у короткі терміни та без значних капітальних інвестицій. Це також сприятиме виходу галузі із критичного стану. Крім цього реалізація досліджень забезпечить подальше наукове обґрунтування і супровід актуальних напрямків геологорозвідувальних робіт з відкриття нових покладів та родовищ, вдосконалення нормативно-правової бази розвитку галузі, раціональне використання нафтогазоносних надр до вимог сьогодення.

THROUGH APPLIED SCIENCE REVIVAL TOWARDS RAPID DEVELOPMENT OF GEOLOGICAL SECTOR

Vyzhva S.[1], *Dr. Sci. (Geol.), Prof., corres. member NASU, s.vyzhva@knu.ua,*
Chepil P.[2], *Cand. Sci. (Geol.-Mineral.), chepil.home@gmail.com,*
Lazaruk Ya.[3], *Dr. Sci. (Geol.), lazarukjaroslav@gmail.com,*
1 – Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine,
2 – State Commission of Ukraine on Mineral Resources, Kyiv, Ukraine,
3 – Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals of the NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine

One of the key components of the current critical condition of the oil and gas sector and the state's energy security has been the dismantling of Ukraine's sectoral scientific base. This situation, including that caused by russian aggression, necessitates an urgent search for effective innovative approaches aimed at stabilizing the industry and ensuring its further development. Effective priority objectives and organizational measures are proposed for the Revival of fundamental and applied scientific research as an innovative component for increasing hydrocarbon reserves for their subsequent production. The primary targets of research are considered to be regenerated hydrocarbon reserves and promising, insufficiently studied sedimentary sequences of already discovered fields from the petroleum geology perspective. Their successful implementation will contribute to the stabilization and significant increase of hydrocarbon reserves in the short term and without substantial capital investments, thereby facilitating the recovery of the industry from its critical state. In addition, the implementation of these studies will ensure further scientific substantiation and support of priority areas of geological exploration, including the discovery of new accumulations and fields.

Вступ. Глобальна енергетична криза та значний попит на критичні мінеральні ресурси у світі спонукають до невідкладних пошуків дієвих кроків щодо нарощування їхніх запасів та подальшого видобутку. І в першу чергу це стосується вуглеводнів (ВВ). Так, за даними British Petroleum попит на енергію до 2035 року у світі зросте на 34% при домінуванні видобувного палива [1]. Тому роль України з суттєвим потенціалом її надр стане особливо вагомою для Європи, оскільки знаходиться у центрі континенту, має розвинену нафтогазову інфраструктуру, значний науковий потенціал, техніко-технологічні засоби пошуків, видобування, транспортування ВВ тощо. Але сьогоднішній занепад геологічної галузі держави викликає занепокоєння. Тому у статті окреслені основні його причини, а також пропонуються дієві заходи щодо нагального виходу із ситуації.

Об'єкти і методи досліджень. Об'єктом досліджень є важлива науково-прикладна

складова геологічної галузі, і в першу чергу нафтогазовидобувного сектору. Авторами використані аналітичні дослідження опублікованих літературних та електронних джерел у нафтогазовій сфері, а також результати власних робіт.

Результати та їх обговорення. Україна входить до четвірки країн Європи за видобувними запасами та перспективними ресурсами ВВ. Однак упродовж останнього десятиліття нафтогазовидобувної галузі держави наближається до межі критичного стану. Головною ознакою цього є суттєве скорочення промислових видобувних запасів вуглеводнів як основи їх видобутку: природного газу – на 33%, нафти – 42%, конденсату – 49% [2]. Це вже в останнє десятиріччя привело до падіння видобутку ВВ і якщо не вживати заходів, то ця тенденція лише посилюватиметься. Крім того, до проблем комплексу додаються руйнівні наслідки повномасштабної військової агресії росії [3].

Основними причинами занепаду галузі є: відсутність виваженої державної політики з регулювання і контролю надрокористування та послаблення ролі державного сектору внаслідок цілеспрямованої ліквідації важливих державних інституцій; лобіювання олігархічними структурами інтересів новостворених приватних підприємств та пріоритетного надання їм значної кількості спеціальних дозволів на користування нафтогазоносними надрами (більше 300), що не призвело до нарощування приростів запасів та збвльшення видобутку ВВ; некомпетентність та непрофесіоналізм топ-менеджменту державних органів і підприємств; відсутність державного планування річних приростів запасів ВВ і їх видобутку; суттєве скорочення обсягів геологорозвідувальних робіт внаслідок зменшення їхнього фінансування; припинення прикладних наукових досліджень; негативний досвід надання у користування іноземним компаніям через Угоди про розподіл продукції значних за площами ділянок надр тощо.

Особливо необхідно підкреслити, що вагомість наукового супроводу у геологічній галузі є ключовою. Так, за реалізації наукових розробок Українського державного геологорозвідувального інституту (УкрДГРІ) виключно українських вчених та організації і участі високопрофесійних профільних урядових органів (Мінгео України, Держкомгеології України, Держгеолслужби України) зпрогнозовані, відкриті і розвідані вітчизняними підприємствами абсолютна більшість родовищ корисних копалин України, і в тому числі ВВ; формувались стратегія та розроблялись довго- і короткострокові програми освоєння ресурсної бази ВВ. Крім того, створений Кодекс України про надра; сформована чинна нормативно-правова база раціонального використання надр; створена цифрова база геолого-геофізичної та геолого-промислової інформації галузі; успішно працювала унікальна лабораторно-дослідницька база інституту; здійснювався науковий супровід за формуванням та дієвий нагляд за виконанням програм робіт спеціальних дозволів на користування надрами і їх раціонального використання надрокористувачами; започатковані дослідження нетрадиційних джерел - газу центральнобасейнового типу; обґрунтовані суттєві перспективи літолого-стратиграфічних пасток ВВ пермської, башкирської, візейської і турнейської карбонатних товщ та кристалічного фундаменту Дніпровсько-Донецької западини; розпочаті регіональні наукові дослідження перспектив нафтогазоносності слабовивчених територій України тощо.

Початком цілеспрямованого знищення як власне геологічної служби, так і галузевої прикладної науки стала реорганізація з середини 2000-х років Державної геологічної служби України у Державну службу геології та надр України (Держгеонадра України). Єдиний галузевий багатопрофільний УкрДГРІ з його відділеннями у Львові, Чернігові, Полтаві, Дніпрі, Сімферополі цілеспрямовано ліквідовано зі звільненням всіх висококваліфікованих науковців. Зазначені вище функції не виконуються взагалі. А чинна нормативно-правова база раціонального використання надр потребує як нагального корегування, так і створення нових нормативно-правових документів до вимог сьогодення.

Без УкрДГРІ Держгеонадра України з геологічного флагману з розвитку мінерально-сировинної бази та забезпечення держави корисними копалинами фактично перетворилася

у продавця спеціальних дозволів на користування надрами та обліковця запасів корисних копалин. Українською геологією ця служба тепер не займається взагалі, оскільки після ліквідації УкрДГРІ наукової інституції, яка б ґрунтовно і всебічно займалася згаданими проблемами, Держгеолслужба не має.

При цьому слід зазначити, що ні одна іноземна компанія, що працювала чи працює в Україні, не відкрила і не розвідала тут жодного родовища ВВ.

Занепад геологічної служби держави та]ї прикладної науки на початку 2000-х спонукав НАК «Нафтогаз України» (Компанію), що володіє близько 90% запасів та 85% видобутку вуглеводнів країни, до створення власної корпоративної науки – Державного підприємства (ДП) «Науканафтогаз». ДП продовжило розвиток як основних напрямків досліджень занедбаного УкрДГРІ, так і започаткував дослідження актуальних науково-прикладних проблем: визначення пріоритетних напрямків нарощування промислових запасів ВВ як основи їхнього видобутку; науковий супровід та координацію виробничої і наукової корпоративної діяльності підприємств Компанії. Обґрунтовані перспективи більше чотирьох десятків ділянок надр у різних регіонах, з яких власне Компанії надано лише близько півтора десятка спеціальних дозволів на користування надрами, в межах яких невідкладно відкривались ряд родовищ ВВ.

До здобутків ДП слід також віднести: виконані регіональні наукові дослідження перспектив нафтогазоносності недостатньо вивчених стратиграфічних комплексів – карбонатних товщ пермського і башкирського віку та обґрунтовані перспективи відкриття нових покладів, в т. ч. у межах вже відомих родовищ; розпочаті роботи з формування корпоративної цифрової бази геолого-геофізичної, геолого-промислової та технічної інформації як основи сучасної ефективної життєдіяльності любої національної компанії, та створення Геопорталу і його імплементації у національну цифрову базу даних; наукове обґрунтування перспектив нафтогазоносності Прикерченського шельфу Чорного моря та супровід подальших геологорозвідувальних робіт, яке увінчалося відкриттям першого у цьому районі нафтового родовища Субботіна; обґрунтовані перспективи нетрадиційних покладів ВВ Волино-Поділля та зони зчленування ДДЗ і Складчастого Донбасу тощо. Компанія успішно співпрацювала в нафтогазовому комплексі країн Африки та Близького Сходу, а також започаткувала співпрацю з провідними іноземними компаніями.

Однак, так званими топ-«реформаторами» у 2016-17 рр. теж цілеспрямовано ліквідовано відповідні підрозділи Компанії: Департамент з видобування, Управління науки, Науково-технічну раду, єдину наукову складову Компанії – ДП «Науканафтогаз» зупинено видавництво єдиного корпоративного галузевого наукового журналу з міжнародною реєстрацією «Нафтогазова галузь України» тощо.

Бездіяльність та невиконання Програм робіт призвели до втрати власне Компанією нафтогазових активів (анульовано 3 спецдозволи на користування надрами загальною площею близько 1,5 тис. кв. км, в межах яких Компанією було відкрито 3 родовища з запасами та перспективними ресурсами близько 15 млн. т ум. п та підготовлено до глибокого буріння 8 об’єктів з перспективними ресурсами більше 50 млн. т. ум. п).

Всі розпочаті згадані напрацювання в Компанії цілеспрямовано зупинено. Провалено виконання Основних показників розвідки та видобутку вуглеводнів НАК «Нафтогаз України» на 2010-2015 рр., Програми 2020 ПАТ «Укргазвидобування», довгострокової Стратегії ПАТ «Укрнафта» до 2025 року.

Компанія з видобування власних ВВ, що передбачено першим пунктом її Статуту, змістила акценти на торгівлю газом [4] на внутрішньому ринку та закупівлю на зовнішньому за цінами, що багатократно перевищують собівартість газу власного видобутку.

При цьому, для прикладу, важливо зазначити, що в італійській національній компанії ЕНІ (з нею «Нафтогаз» у попередні роки співпрацював над реалізацією спільних проектів на суші та на Чорному морі) топ менеджмент – професіонали нафтогазового профілю вищої кваліфікації. А департамент розвідки та видобутку налічує більше як 2600

висококваліфікових науковців, укомплектований сучасною лабораторною базою, організовує та супроводжує розвідку та видобуток ВВ обсягом понад 100 млн. т ум. п. на рік більш як у 70 країнах світу.

Таким чином, знищена українська прикладна нафтогазова наукова школа як інституція формування сучасної геологічної нафтогазопошукової парадигми з нарощування сировинної бази видобутку ВВ. Її знищенням створено безпрецедентний випадок у світовій практиці: на сьогодні Україна є єдиною країною світу з розвиненим сировинним комплексом без галузевої прикладної науки. Такі дії урядових органів та некомпетентного і непрофесійного топ-менеджменту є диверсією проти України та загрозою її енергетичній незалежності та національній безпеці.

Необхідно також зазначити, що Український науково-дослідний інститут газу АТ «Укргазвидобування» та Науково-дослідний і проєктний інститут АТ «Укрнафта» виконують лише проєктні функції для забезпечення виробничої діяльності товариств, складання звітів з геолого-економічної оцінки родовищ вуглеводнів тощо і за винятком деяких ентузіастів прикладними науковими дослідженнями практично не займаються.

При цьому вагомими є наукові розробки української академічної науки. Серед них важливою є розроблена фахівцями Інституту геології і геохімії горючих копалин НАН України теорія абіогенного та дуалістичного походження вуглеводнів, яка сьогодні кардинально змінює розуміння проблем пошуків нових скупчень ВВ. Вагомими є і розробки Інституту геологічних наук НАН України з розвитку зеленої енергетики, в т. ч. застосування водню. До здобутків Інституту геофізики НАН України слід віднести результати з вивчення земної кори та верхньої мантії Центральної та Південно-Східної Європи і прогнозування землетрусів. На жаль, профільні інститути НАН України також доведені до жалюгідного стану.

В освітянській науці (Київський національний університет ім. Т. Шевченка, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу тощо) теж практично відсутні цілеспрямовані наукові дослідження з нарощування сировинної бази ВВ.

Прикладними науковими дослідженнями ні академічна, ні освітянська науки масштабно практично не займаються, оскільки вони не є їх функціями.

Критична ситуація спонукає до невідкладного відродження прикладних наукових досліджень для розв'язання проблем геологічної, і в тому числі нафтогазової, галузі. Слід зазначити, що Держгеонадра України і надалі є уповноваженим органом з реалізації державної політики у сфері геологічного вивчення та раціонального використання корисних копалин держави, Однак після ліквідації УкрДГРІ наукова інституція яка б ґрунтовно і всебічно займалася згаданими проблемами, відсутня.

Реалізація відродження прикладних наукових досліджень можливе лише за умови невідкладного прийняття відповідних організаційно-адміністративних заходів. Серед них логічним і найбільш дієвим сьогодні на державному рівні за сприяння Мінекономіки України (Держгеонадра України) є створення підрозділу (Центру) наукових досліджень при ДКЗ України (Комісія), яка є уповноваженим державним органом у сфері раціонального використання всіх корисних копалин надр держави, а наукові дослідження передбачені її Статутом. Крім цього, сьогодні Комісія – це держустанова, яка знайома з проблемами держави, що потребуюсь невідкладних науково-прикладних рішень. Вона укомплектована висококваліфікованим профільними ТОП-менеджментом та спеціалістами з дієвими контактами з іншими державними органами і установами та виробничими підприємствами всіх форм власності, задіяних у надрокористуванні. Також вона володіє тісними зв'язками із спорідненою зарубіжною спільнотою та детальною інформацією про сучасний стан розвитку сфери надрокористування передових країн світу. І важливо: Комісія є єдиною організацією із штатом експертів – висококваліфікованих досвідчених спеціалістів всього спектру діяльності у надрокористуванні і їй під силу вирішення любих науково-практичних проблем у короткі терміни.

До основних завдань новоствореного Центру слід віднести: розробку стратегічних

рішень розвитку геологічної галузі держави, в т. ч. нафтогазовидобувної складової; обґрунтування нових напрямків нарощування вуглеводневого потенціалу; досліджень проблем традиційних та нетрадиційних енергетичних джерел ВВ та шляхів їх реалізації; розроблення і впровадження у виробництво наукових і методичних основ прогнозування, пошуків та розвідки родовищ корисних копалин з застосуванням цифровізації та штучного інтелекту [5]; нарощування запасів корисних копалин як основи розвитку добувних та переробних галузей економіки; корегування діючих та розробку нових нормативно-правових документів щодо раціонального використання нафтогазоносних надр, державного регулювання та контролю держави у сфері надрокористування підприємствами всіх форм власності тощо. Першочергові науково-прикладні завдання також уже частково окреслені дослідниками [6,7].

Центр став би платформою для формування, постановки та вирішення стратегічних і практичних задач галузі у тісній взаємодії науковців з фахівцями виробничих організацій.

Крім цього у споріднених відомствах та організаціях галузі необхідне відновлення державних, у т. ч. наукових інституцій з розробки стратегічних рішень щодо розвитку нафтогазової галузі держави; розвитку наукових досліджень проблем традиційних та нетрадиційних енергетичних джерел ВВ та шляхів їх реалізації; обґрунтування нових перспективних напрямків нарощування вуглеводневого потенціалу; раціонального використання та державного регулювання у сфері надрокористування; дієвого контролю зі сторони держави за виконанням надрокористувачами всіх форм власності проєктних рішень щодо ефективного використання надр. І в першу чергу – це відновлення виробничо-наукової корпоративної складової у НАК «Нафтогаз України» з метою організації, координації і спрямування інтелектуальних, наукових, матеріальних, фінансових зусиль для забезпечення реалізації першочергових науково-прикладних завдань. Це також дасть змогу вирішити і фінансову складову реалізації зазначених прикладних наукових досліджень через заключення відповідної Угоди про співпрацю між ДКЗ України та НАК «Нафтогаз України» з супроводу науково-прикладних досліджень пріоритетних проблем галузі за сприяння Мінекономіки України без тендерних процедур.

Також важливою складовою вбачається відродження співпраці Компанії з профільними ВУЗами (на зразок країн з розвиненою нафтогазовою промисловістю) через формування та реалізацію відповідної профільної тематики з першочергових науково-прикладних досліджень. При цьому фінансове забезпечення науково-прикладних досліджень може бути реалізоване як частково за бюджетні кошти Міносвіти України з корегуванням наявної тематики до вимог сьогодення нафтогазового сектору, так і за кошти Компанії в межах Угод про співпрацю між Компанією і ВУЗами України. Прикладом може слугувати угода з КНУ імені Тараса Шевченка, що давало змогу оперативно (без проведення конкурсів та із залученням висококваліфікованих фахівців до творчих колективів) і на високому рівні виконувати пріоритетні дослідження. Однак на сьогодні така співпраця зупинена через згадані причини.

До науково-прикладних досліджень також доцільно залучати профільні інститути Академії наук та ВУЗи України. Фінансове забезпечення прикладних досліджень може бути реалізоване як частково за бюджетні кошти Академії наук та Міносвіти України коректуванням завдань відповідної тематики, так і за кошти зацікавлених підприємств. Прикладом може слугувати Угода про співпрацю НАК «Нафтогаз України» з КНУ імені Тараса Шевченка на зразок країн з розвиненою нафтогазовою галуззю, що давало змогу оперативно виконувати пріоритетні дослідження.

Як варіант забезпечення фінансування наукових досліджень необхідно передбачити відрахування 0,3-1% від вартості придбання на аукціонах спеціальних дозволів на користування надрами та відповідного відсотка асигнувань від обсягів на виконання програм робіт, передбачених спеціальними умовами.

Перелічені заходи дадуть змогу в стислі терміни організувати виконання основних наукових прикладних досліджень та реалізацію їх результатів. У короткотерміновій

перспективі за експертними оцінками прирости видобувних запасів ВВ можуть бути збільшені як мінімум на 25-30 % без відкриття нових родовищ і вкладення значних капітальних витрат у нафтогазовидобувну галузь. Разом із залишковими запасами вони можуть стати базою для подальшого планомірного нарощування у 1,3-1,5 рази щорічних обсягів їх видобутку [6].

Таким чином відновлення державних наукових інституцій та науково-прикладних досліджень стане важливим елементом стабілізації діяльності нафтогазовидобувної галузі і забезпечення енергетичної безпеки держави.

Висновки.

Цілеспрямована ліквідація галузевої прикладної науки є одним з ключових факторів, що призвели до критичного стану нафтогазовидобувної галузі.

Для відродження прикладних наукових досліджень пропонуються основні заходи:

– створення Центру наукових досліджень при ДКЗ України;

– відновлення науково-прикладного підрозділу в складі НАК «Нафтогаз України»;

– основними завданнями наукових інституцій вважати розробку стратегії прогнозування, пошуків та розвідки нафтових і газових родовищ з метою аарощування приростів запасів ВВ як основи для їх подальшого видобування;

– джерелами фінансування науково-прикладних досліджень можуть бути кошти держбюджету, відрахування від коштів за придбання спеціальних дозволів на користування надрами, фінанси зацікавлених виробничих організацій.

Сподіваємось, що перелічені заходи дадуть інноваційний імпульс для забезпечення сталого розвитку геологічної галузі та економіки держави і в недалекій перспективі Україна може стати експортером не тільки природного газу, а й інших мінеральних ресурсів та продуктів їх переробки.

Список використаних джерел:

1. British Petroleum: Fossil fuels to remain “dominant form of energy” through 2035 / by Oil&Gas Journal editors // Oil&Gas Journal. 2016.

2. Чепіль П. М., Лазарук Я. Г., Ружевич В.І., С. В. Герасим, І. З. Михайловський. Шляхи прискореного нарощування промислових запасів вуглеводнів в Україні. Мінеральні ресурси України. 2025. №2. С.54–59.

3. Ромашенко С., Куницький О. РФ захопила українські родовища на 12,4 трильйона доларів. 12.08.2022. Режим доступу: https://www.dw.com/uk/rf-zahopila-ukrainski-rodovisana-124-triljona-dolariv/a-62795134.

4. Розвиток газового сектору України в контексті Євроінтеграції // Центр Разумкова. 2014) http://www.razumkov.org.ua/upload/1392037862_file.pdf.

5. Recent Development of Digital Oil Field. https://www.scribd.com/document/343694306/Recent-Development-of-Digital-OilField.

6. Вижва С. А,. Чепіль П. М, Лазарук Я. Г., Ружевич Д.І., Михайленко А.О. Відродження наукових досліджень як інноваційного інструменту нарощування запасів вуглеводнів. //Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія. – 2026. – Том 114(3) – С. 52-61.

7. Височанський І.В., Святенко Г.Є. та ін. До питання про геологічні передумови формування гідродинамічних пасток у Дніпровсько-Донецькій западині. – Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія», вип. 54, 2021 р,

References:

1. British Petroleum: Fossil fuels to remain “dominant form of energy” through 2035 / by Oil&Gas Journal editors // Oil&Gas Journal. 2016.

2. Chepil P. M, Lazaruk, Ya. G., Ruzhevych, D. I., Harasym, S. V, Mykhailovkyi, I. Z. Ways of accelerated ingrease of indrustrial reserves of hydrocarbons in Ukraine. 2025. № 2. P. 54–59.

3. Romashenko S., Kunytskyi O. The Russian Federation seized Ukrainian deposits worth 12.4 trillion dollars. 12.08.2022. https://www.dw.com/uk/rf-zahopila-ukrainski-rodovisana-124-triljona-dolariv/a-62795134 (In Ukrainian).

4. Development of the gas sector of Ukraine in the context of European integration//RazumkovCenter.(2014). http://www.razumkov.org.ua/upload/1392037862_file.pdf (In Ukrainian).

5. Recent Development of Digital Oil Field. https://www.scribd.com/document/343694306/Recent-Development-of-Digital-OilField.

6. Vyzhva S, Chepil P., Lazaruk Ya., Ruzhevych D. I., Myhaylenko A. Revival of Scientific Research as an Innovative Tool for Increasing Hydrocarbon Reserves. //Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology. – 2026. – Vol. 114. – №3. – P. 52-61 (In Ukraine).

7. Vysochanskiy I., Svyatenko G. On the guestion of geological prereguisites of Dnieper-Donets Depression hydrodynamic traps formation. V. N. Karazin Kharkiv National University. Серія «Геологія. Географія. Екологія», випуск 54, 2021 р.

553.048

CRIRSCO ТА UNFC: ПРОЗОРІСТЬ СФЕРИ ВИКОРИСТАННЯ НАДР

Баряцька Н.В., *д. геол. н., bariatskan@softmine.com.ua*
Сафронова Н.Г., *safronovan@softmine.com.ua*
ТОВ «Софтмайн», м. Київ, Україна

Проаналізовано класифікації мінеральних ресурсів CRIRSCO (Committee for Mineral Reserves International Reporting Standards) та UNFC (United Nations Framework Classification) з урахуванням їхньої історії, еволюції, практичного застосування та структури. Розглянуто розробників і основних користувачів, особливості врахування техніко-економічних чинників та економічної доцільності, а також вимоги до звітності. Визначено спільні риси та основні відмінності щодо цілей і сфер застосування у контексті перспектив використання в Україні.

Ключові слова: CRIRSCO, UNFC, класифікації ресурсів і запасів корисних коплаин

CRIRSCO AND UNFC: TRANSPARENCY OF THE SUBSOIL USE SECTOR

Bariatska N., *Dr. (Geol.), bariatskan@softmine.com.ua*
Safronova N., *safronovan@softmine.com.ua*
Softmine LLC, Kyiv, Ukraine

The classifications of mineral resources CRIRSCO (Committee for Mineral Reserves International Reporting Standards) and UNFC (United Nations Framework Classification) have been analysed considering the history, evolution, practical application and structure of classifications. Reviews developers and key users, the specific considerations regarding technical and economic factors and economic viability, as well as reporting requirements. Similarities and key differences regarding objectives and application areas are highlighted in the context of their potential use in Ukraine.

Keywords: CRIRSCO, UNFC, classifications of mineral resources and mineral reserves.

Вступ. ***Класифікація CRIRSCO*** – міжнародна система, яка визначає принципи оцінки та публічної звітності про результати розвідки, мінеральні ресурси та запаси корисних копалин. Вона визначається *Шаблоном CRIRSCO* (*CRIRSCO International Reporting Template* [8]) та розробляється *Комітетом із міжнародних стандартів звітності про запаси корисних копалин* (*Committee for Mineral Reserves International Reporting Standards – CRIRSCO*), який являє собою міжнародне об'єднання регіональних організацій, що в свою чергу відповідають за розроблення національних стандартів звітності про мінеральні ресурси та запаси.

Класифікація UNFC – це міжнародна рамкова система, яка призначена для уніфікованої оцінки, обліку та управління енергетичними й мінеральними ресурсами в усьому світі на основі єдиних критеріїв сталого розвитку. Вона регламентується *Рамковою класифікацією ресурсів Організації Об'єднаних Націй* (*United Nations Framework Classification for Resources* [10]) та розробляється *Європейською економічною комісією ООН* (*United Nations Economic Commission for Europe – UNECE*), а саме її *Експертною групою з управління ресурсами* (*Expert Group on Resource Management – EGRM*).

Історія. У 1994 році було засновано *Комітет із міжнародних стандартів звітності про запаси корисних копалин (CRIRSCO)*, що об'єднав вже існуючі на той момент національні кодекси (JORC, NI 43-101, SAMREC та інші) у єдину систему публічної звітності. Передумовою його створення стала низка інвестиційних скандалів у гірничодобувній галузі через непрозорість оцінок, відсутність єдиної класифікації та термінології. Основною метою CRIRSCO є захист інвесторів і фондових ринків від недостовірних оцінок ресурсів та запасів корисних копалин, а також створення єдиних підходів до звітності та уніфікація термінології для гірничодобувних компаній і регуляторних органів. Подальший розвиток був пов'язаний із формуванням спільних міжнародних принципів та їх відображенням у *Міжнародному шаблоні звітності (CRIRSCO International Reporting Template)* [8].

Через кілька років, у 1997 році, *Економічна комісія ООН для Європи (UNECE)* розробила *Рамковою класифікацією ресурсів Організації Об'єднаних Націй (United Nations Framework Classification for Resources)* як універсальну систему для уніфікованої оцінки та класифікації ресурсів, призначену для обліку та управління ресурсами, на рівні країн, регіонів та міжнародних організацій. Первинно система розроблялася для класифікації мінеральних ресурсів, а надалі її сферу застосування було розширено на енергетичні та інші ресурси.

І хоча обидві класифікації виникли, як відповідь на потребу у формуванні єдиних та прозорих підходів до оцінки мінеральних ресурсів і запасів, вони відрізняються за цілями, структурою та сферами застосування.

Поширення систем CRIRSCO та UNFC у світі. Зважаючи на тісний зв'язок *CRIRSCO* з міжнародними ринками капіталу, ця класифікація широко використовується у країнах з розвинутими фондовими біржами та потужною гірничою індустрією. Станом на вересень 2026 року CRIRSCO об'єднує 15 країн і регіонів, представлених відповідними національними та регіональними організаціями: Австралазія – Австралія та Нова Зеландія (JORC – Joint Ore Reserves Committee), Канада (CIM – Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum), США (SME – Society for Mining, Metallurgy and Exploration), Європа, включаючи Велику Британію (PERC – Pan-European Reserves and Resources Reporting Committee), Чилі (Comisión Minera), Південна Африка (SAMREC – South African Mineral Resource Committee), Бразилія (CBRR – Comissão Brasileira de Recursos e Reservas), Казахстан (KAZRC – Казахстанська асоціація публічної звітності), Індія (NACRI – National Committee for Reporting in India), Індонезія (KCMI – Komite Cadangan Mineral Indonesia), Туреччина (UMREK – Ulusal Maden Kaynak ve Rezerv Raporlama Komitesi), Філіппіни (PMRCC – Philippine Mineral Reporting Code Committee), Колумбія (CCCN – Comisión Colombiana de Recursos y Reservas Minerales), Китай (CAMRA – China Association of Mineral Resource Appraisers), Росія (НАЕН – Національна асоціація експертів з надр) [4].

Китай офіційно увійшов до складу CRIRSCO 16 жовтня 2025 року після тривалого процесу перевірок та гармонізації стандартів [9]. Натомість 8 вересня 2026 р. Монгольський професійний інституту геологічних наук та гірничої справи (Mongolian Professional Institute of Geosciences and Mining) було виключено зі складу членів CRIRSCO у зв'язку з невиконанням встановлених вимог [3].

Росія формально продовжує залишатися представленою в CRIRSCO, оскільки аполітичний статус комітету не передбачає механізмів виключення за військову агресію. Але з 2022 року представник Росії не бере участі у щорічних загальних зборах. Водночас застосування російськими компаніями міжнародних стандартів звітності CRIRSCO про мінеральні ресурси та запаси відбувається в умовах суттєвих обмежень, пов'язаних із міжнародними санкціями проти Росії, які вплинули на доступ російських компаній до міжнародних фінансових ринків та здійснення операцій із міжнародними контрагентами.

UNFC здебільшого впроваджується на державному, регіональному та континентальному рівнях як інструмент обліку, планування та управління ресурсами в контексті стратегічної безпеки та сталого розвитку.

У деяких країнах, зокрема США, Аргентині, Бразилії, Єгипті, Йорданії та Індонезії, UNFC застосовується для окремих проєктів і галузевих досліджень, без її загального запровадження на національному рівні. Деякі країни безпосередньо інтегрували її принципи у національні системи класифікації та управління ресурсами, як, зокрема, Україна [12] та Індія. В інших країнах UNFC використовується як міжнародна система для узгодження та зіставлення національних класифікацій з міжнародними підходами шляхом розроблення спеціальних документів (Bridging Documents). Такий підхід дає змогу зберігати національні системи класифікації та водночас забезпечувати зіставність ресурсної інформації на міжнародному рівні.

В Африці на континентальному рівні впроваджено Африканську систему класифікації та управління мінеральними й енергетичними ресурсами (AMREC), що розроблена

Африканським Союзом і адаптує підходи UNFC до регіональних потреб та забезпечує єдину основу для класифікації, звітності й управління мінеральними та енергетичними ресурсами в Африці [1].

Іншим прикладом застосування UNFC на регіональному рівні є Європейський Союз, де її використання передбачено Актом про критичну сировину – Critical Raw Materials Act (CRMA) [5]. Зокрема, заявка на визнання проєкту стратегічним має містити його класифікацію відповідно до UNFC, що використовується як єдина методологічна основа для оцінювання ресурсної бази критичних корисних копалин в межах ЄС.

Компетентна / кваліфікована особа (CRIRSCO) та Кваліфікований експерт (UNFC). У системі ***CRIRSCO*** *компетентна* або *кваліфікована особа (Competent Person / Qualified Person)* – це фахівець із відповідною освітою та досвідом, який має право підтверджувати оцінки мінеральних ресурсів і запасів для публічної звітності. Її підпис під звітом гарантує, що дані відповідають міжнародним стандартам і можуть бути використані інвесторами та фондовими біржами. У системі ***UNFC*** використовується поняття *кваліфікованого експерта (Qualified Expert)*, який відповідає за стандарти та методології, що застосовуються для збору, аналізу та перевірки інформації, яка використовується під час *кваліфікованої оцінки*.

Обидві системи передбачають, що такі особи повинні бути членами *визнаних професійних організацій (Recognised Professional Organisations)* – інституцій, які встановлюють стандарти етики, кваліфікаційні вимоги та дисциплінарні процедури. Це можуть бути геологічні товариства, інженерні асоціації чи спеціалізовані інститути, які визнаються на міжнародному рівні.

Заява компетентної / кваліфікованої особи (*Certificate of Competent Person*) та кваліфікованого експерта (*Statement of Qualified Expert*) є невід'ємною частиною звіту про мінеральні ресурси і запаси. Їхні шаблони регламентуються у першому випадку безпосередньо Шаблоном CRIRSCO [8], у другому – «Керівними положеннями щодо вимог до компетентності у сфері оцінювання, класифікації та управління ресурсами» [6]. Обидва документи мають на меті офіційно підтвердити професійну компетентність відповідальної особи та містять особисті дані, відомості про освіту, досвід, професійне членство, незалежності від замовника та декларації про відсутність конфлікту інтересів.

Необхідно відмітити, що поняття компетентної особи з'явилося у 1972 році, а поняття кваліфікованого експерта – у 2022 році, ймовірно у рамках Briging процесу (зближення класифікацій CRIRSCO та UNFC).

Структури класифікацій та їх зіставлення. ***CRIRSCO*** має ієрархічну структуру, у якій послідовно виділяються *результати розвідки (Exploration Results), мінеральні ресурси (Mineral Resources)* та *мінеральні запаси (Mineral Reserves)*. Мінеральні ресурси поділяються на *Передбачувані (Inferred), Виявлені (Indicated)* і *Виміряні (Measured)*, а мінеральні запаси – на *Ймовірні (Probable)* і *Доведені (Proved)*. Така структура відображає поступове підвищення рівня геологічної вивченості та можливість переходу ресурсів у запаси з урахуванням *модифікуючих чинників*.

У ***UNFC*** кожен проєкт оцінюється за трьома незалежними вимірами **(осями)**, що характеризують різні аспекти його реалізації. Перша вісь – **E (економічна та соціальна життєздатність)**, яка показує, наскільки проєкт відповідає ринковим умовам, політиці держави та вимогам сталого розвитку. Друга вісь – **F (технічна та проєктна здійсненність)**, що відображає рівень готовності проєкту: від концептуальної стадії до повністю реалізованого виробництва. Третя вісь – **G (геологічна достовірність)**, яка визначає ступінь впевненості у геологічних даних, від прогнозних оцінок до детально підтверджених запасів. Поєднання цих трьох вимірів дозволяє класифікувати ресурси та проєкти комплексно, враховуючи не лише геологію, а й економіку, технології та соціальні фактори.

Категорії та класи двох систем можуть бути зіставлені за допомогою спеціального *Узгоджувального документа* (*Bridging Document between CRIRSCO Template ma UNFC* [2])

та *Методичних рекомендацій* щодо його застосування (*Guidance Note on the use of the CRIRSCO-UNFC Bridging Document* [7]). Першу версію такого документа було розроблено у 2015 році, а у 2024 році його оновлено з урахуванням актуальних версій CRIRSCO Template та UNFC. Основна функція Bridging Document полягає у встановленні методологічного зв'язку між оцінками, підготовленими відповідно до CRIRSCO Template, та їх класифікацією за UNFC. При цьому не передбачається заміна однієї системи іншою або повторна оцінка родовища: кожна система зберігає власну структуру та призначення.

Порівняння CRIRSCO та UNFC. Обидві системи спрямовані на забезпечення єдиного, прозорого підходу до класифікації й оцінювання мінеральних ресурсів, проте відрізняються за призначенням, підходами та рівнем застосування.

- ***Розробники:*** *Міжнародний шаблон звітності CRIRSCO (International Reporting Template)* розроблений *Комітетом з міжнародних стандартів звітності про запаси корисних копалин (CRIRSCO)*, а *Рамкова класифікація ресурсів ООН (United Nations Framework Classification for Resources, UNFC)* розроблена Експертною групою з управління ресурсами (EGRM) при Європейській економічній комісії ООН (UNECE).

- ***Основні користувачі:*** *CRIRSCO* орієнтована переважно на гірничі компанії, інвесторів, фондові біржі [11] та регуляторні органи й застосовується *для окремих проєктів і родовищ*. *UNFC* використовується державними органами, геологічними службами та міжнародними організаціями *на рівні країн і регіонів*.

- ***Сфери застосування:*** *CRIRSCO* використовується переважно для публічної звітності щодо окремих родовищ і проєктів, забезпечуючи прозорість інформації для інвесторів та учасників ринку капіталу. *UNFC* застосовується для управління ресурсами на національному, регіональному та міжнародному рівнях, зокрема для формування ресурсних балансів, планування та розроблення стратегій розвитку мінерально-сировинної бази.

- ***Техніко-економічна оцінка:*** У *CRIRSCO* техніко-економічні чинники застосовуються до геологічно обґрунтованих ресурсів під час їх переходу до запасів. В *UNFC* техніко-економічна оцінка враховується вже на першому етапі.

- ***Економічна доцільність:*** CRIRSCO зосереджена на ресурсах і запасах, що мають обґрунтовані перспективи економічного видобутку та інвестиційну значущість. UNFC охоплює також неекономічні та потенційно невигідні для розробки ресурси.

- **Види ресурсів:** CRIRSCO застосовується виключно до твердих корисних копалин, тоді як UNFC охоплює тверді корисні копалини, вуглеводні, енергетичні ресурси, антропогенні ресурси та відходи, підземні води та CO_2.

Висновки. Порівняння та аналіз класифікацій CRIRSCO та UNFC показує, що вони не є взаємовиключними, а доповнюють одна одну, оскільки використовуються паралельно для різних цілей: CRIRSCO – переважно для публічної звітності щодо окремих проєктів і родовищ, UNFC – для управління ресурсами на рівні країн і регіонів.

В Україні UNFC використовується як основа державної системи класифікації запасів і ресурсів корисних копалин, тоді як підходи CRIRSCO застосовуються переважно для міжнародної публічної звітності щодо окремих родовищ і проєктів. З огляду на посилення інвестиційної складової розвитку мінерально-сировинної бази України, зокрема в рамках українсько-американського партнерства у сфері природних ресурсів, доцільним є подальше впровадження підходів CRIRSCO на державному рівні. Для родовищ, щодо яких наявні оцінки за CRIRSCO, доцільно забезпечити їхній державний облік (баланс). Під час проведення експертизи запасів ДКЗ доцільним є порівняння оцінок за національною системою та CRIRSCO, якщо відповідні дані є у відкритому доступі або надані надрокористувачем. Це сприятиме підвищенню прозорості та об'єктивності оцінок як для окремих родовищ, так і для мінерально-сировинної бази України в цілому.

Список використаних джерел:

1. African Mineral and Energy Resources Classification and Management System (AMREC). – African Union, 2019. – 176 p. https://au.int/sites/default/files/documents/44206-doc-AMREC_-_English_-document_.pdf

2. Bridging Document between the Committee for Mineral Reserves International Reporting Standards Template and the United Nations Framework Classification for Resource. – Economic Commission for Europe Committee on Sustainable Energy Expert Group on Resource Management. – 2024. – 20 p. https://unece.org/sites/default/files/2024-04/CRIRSCO_Template_UNFC_BD_ECE_ENERGY_GE.3_2024_5_ENG.pdf

3. Change in CRIRSCO Membership – removal of MPIGM (Mongolia) // CRIRSCO. September 9, 2026 https://crirsco.com/change-in-crirsco-membership-removal-of-mpigm-mongolia/

4. CRIRSCO Members // CRIRSCO https://crirsco.com/members/

5. Critical Raw Materials Act: Regulation (EU) 2024/1252 of the European Parliament and of the Council of 11 April 2024 establishing a framework for ensuring a secure and sustainable supply of critical raw materials and amending Regulations (EU) No 168/2013, (EU) 2018/858, (EU) 2018/1724 and (EU) 2019/1020. Official Journal of the European Union, L 1252, 3 May 2024. – 67 p. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202401252

6. Guidance Note on Competency Requirements for the Estimation, Classification and Management of Resources. – UNECE Expert Group on Resource Management. – 2022. – 6 p. https://unece.org/sites/default/files/2022-11/Guidance_Note_on_Competency_Requirements_25_October_2022.pdf

7. Guidance Note on the use of the CRIRSCO-UNFC Bridging Document (EGRM -15 /2024/ INF.3). Based on the CRIRSCO Template November 2019 version and UNFC (Update 2019). – CRIRSCO, UNECE. – 2024. – 44 p. https://unece.org/sites/default/files/2026-04/EGRM17-2026-INF.6%20UNECE_CRIRSCO_Guidance_Note_CRIRSCO-UNFC_BD_2025Update_FINAL.pdf

8. International Reporting Template for the Public Reporting of Exploration Targets, Exploration Results, Mineral Resources and Mineral Reserves. – Commitee for Mineral Reserves International Reporting Standards. June 2024. – 78 p. https://crirsco.com/wp-content/uploads/woocommerce_uploads/2024/06/CRIRSCO_International_Reporting_Template_June2024_Update_Approved_for_Release_20240627-dl8515.pdf

9. Its 16th Member // CRIRSCO. – November 7, 2025 https://crirsco.com/camra-china-association-of-mineral-resource-appraisers-the-nro-for-china-joins-crirsco-as-its-16th-member/

10. United Nations Framework Classification for Resources – Update 2019. – United Nations: UNECE, 2020. – 20 p.

11. Баряцька Н.В. Чи готові українські надрокористувачі розмовляти “однією мовою” з міжнародними інвесторами? // Мінеральні ресурси України. – № 1, 2021. – С. 4-7.

12. Баряцька Н.В., Сафронова Н.Г. Особливості застосування міжнародних класифікацій запасів і ресурсів твердих корисних копалин в Україні // V Міжнародна науково-практична конференція «Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування». Матеріали конференції. – Том І. – 2018. – С. 28-35.

УДК 553.981.4:553.94(477.6)

СТАНОВЛЕННЯ МЕТАНОВИДОБУВНОЇ ГАЛУЗІ ДОНБАСУ – НЕРЕАЛІЗОВАНІ МОЖЛИВОСТІ

Жикаляк М.В., *д. екон. н, докт. філос (геол.), dongeo@ukr.net,*
Лукінов В.В., *д. геол.-мін. н., vlukinov@ukr.net*

Наведено основні досягнення геологічної практики і науки у вивченні вугільних родовищ Донецького басейну як комплексних метано-вугільних і охарактеризовано виробничі та науково-практичні аспекти функціонування метановидобувної галузі Донбасу від сталого розвитку до перманентного занепаду з 2014 року. Обґрунтовано перспективи відновлення видобування та напрями використання газу метану після звільнення південно-східних регіонів України.

FORMATION OF THE METHANE EXTRACTION INDUSTRY IN DONBAS – UNREALISED OPPORTUNITIES

Zhykalyak M.*, Dr. Sci.(Econ.), PhD (Geol.), dongeo@ukr.net,*
Lukinov V.*, Dr. Sci. (Geol.-Mineral.), vlukinov@ukr.net*

The main achievements of geological practice and science in the study of coal deposits of the Donetsk Basin as complex methane-coal deposits are presented and the production and scientific and practical aspects of the functioning of the methane extraction industry in Donbas from sustainable development to permanent decline since 2014 are characterized. The prospects for the restoration of production and directions for the use of gas and methane after the liberation of the southeastern regions of Ukraine are substantiated.

Вступ. Основні закономірності знаходження газу метану у вугільних пластах і вміщуючих породах вугільних родовищ Донбасу були добре вивчені геологорозвідувальними підприємствами і науковими організаціями протягом більш ніж 100-річного періоду інтенсивного вуглевидобутку в Донецькому басейні. Результати були узагальнені Українським науково-дослідним інститутом газу – УкрНДІгаз (м. Харків) у звіті з оцінки ресурсів вуглеводних газів вугільних родовищ Донецького басейну. При цьому загальні ресурси метану до глибини 1800 м у вугільних пластах були підраховані в обсягах 1078,5 млрд м^3 з щільністю 40 млн м^3/км^2 та вільного газу у породах, головним чином пісковиках, – 140,3 млрд м^3 з щільністю 16,7 млн м^3/км^2 [5].

Недостатні обсяги видобутку природного газу і наявність в Україні значних ресурсів газу метану з врахуванням наявності технологій вилучення вугільного метану в США і Китаї обумовили підготовку вітчизняної програми розвитку паливно-енергетичного комплексу до 2010 року, поетапну реалізацію «Енергетичної стратегії України на період до 2030 (2035) року» та затвердження Закону України «Про газ (метан) вугільних родовищ» і Закону «Про альтернативні джерела енергії». В результаті вперше були обґрунтовані стратегічні, правові, економічні, організаційно-технічні, технологічні та екологічні аспекти стосовно геологічного вивчення метану вугільних родовищ і шахт, дослідно-промислової розробки шахтних полів, завчасного видобування, поетапної дегазації та утилізації газу метану. Це забезпечило стале зростання до 2014 року вуглевидобутку вугілля в Донбасі до 86 млн т на рік і збільшення вилучення метану на шахтах до 1,5 млрдм^3 на рік, 45-50 % з яких було вилучено системами комплексної дегазації та утилізовано (використано).

В подальшому з 2014 року в умовах неконтрольованості Україною чималої частини Донецької та Луганської областей і початку 24.02.2022 р. масштабної воєнної агресії Російської Федерації (РФ) проти України та у зв'язку із зменшенням вуглевидобутку більш ніж у чотири рази через втрату виробничих потужностей шахтного фонду Донецького басейну, вітчизняна метановидобувна галузь суттєво обмежила своє функціонування, так і не досягнувши сталого розвитку.

Характеристика основних досягнень в освоєнні ресурсів газу метану Донбасу. Згідно Закону України «Про альтернативні джерела енергії» видобування газу метану – це господарська діяльність, яка включає комплекс організаційних, технічних і технологічних

заходів, спрямованих на вилучення вільного і адсорбованого газу метану із вугільних пластів і газоносних вміщуючи порід, а дегазація вугільних родовищ – це господарська діяльність вуглевидобувних підприємств, що включає комплекс організаційних, технічних і технологічних заходів, спрямованих на вилучення газу метану із шахтних полів нових, діючих або закритих шахт для забезпечення промислової та екологічної безпеки вуглевидобутку. В свою чергу господарська діяльність з утилізації та використання газу метану вугільних родовищ і шахт – це виробництво теплової, механічної, електричної або інших видів енергії та використання газу метану як основної технологічної сировини і його продажу як товарної продукції.

В результаті в Україні на законодавчому рівні вперше були визначені базові механізми становлення метановидобувної галузі на всіх етапах освоєння вугільних родовищ. В подальшому необхідність забезпечення промислової та екологічної безпеки вуглевидобутку в Донбасі та необмежені перспективи комплексного використання метано-вугільного потенціалу вугільних родовищ забезпечило рентабельне функціонування когенераційних установок з використання газу метану для виробництва електроенергії на шахті ім. О.Ф. Засядька. Ще більш значний економічний ефект шахтоуправлінням «Покровське» за рахунок комплексної дегазації шахтного метану з виробництвом теплової та електричної енергії, а також продажем квот на зменшення шкідливих викидів у рамках Кіотського протоколу. Крім того, за участю світової компанії Halliburton на полі шахти ім. О.Ф. Засядька з метою вивчення газоносності підвугленосної товщі Донбасу були пробурені дві параметричні свердловини глибиною 3464 і 2800 м відповідно [3, 4].

Підприємствами групи «Енерго» був розроблений масштабний проект, який передбачав буріння 150-200 дегазаційних свердловин з денної поверхні у межах 6 ділянок в Донецькій області (Гришино-Андріївська, Добропільська, Південно-Донбаська №4, Південно-Донбаська № 12-1, Торецька (колишня Дзержинська) та Макіїво-Михайлівська) і 3 в Луганській області – Новоаннівська, Новосвітловська 2-4 та Селезнівська. Однак, спеціальний дозвіл на користування надрами з метою реалізації даного масштабного проекту Мінприроди (Міндовкілля) як уповноваженим державним органом не був виданий, а самою ідеєю вдало скористалася компанія Шелл, розширивши ліцензійну площу ще й на Харківську область (замість Луганської), яка за сприянням тодішнього президента Віктора Януковича створила дочірню компанію «Шелл Експлорейшн енд Продакшн Юкрейн Інвестменс (IV) Б.В.» [2].

Після цього усі проекти щодо завчасної дегазації вугільних родовищ були заморожені, оскільки виявилось, що буріння дегазаційно-видобувних свердловин з денної поверхні даватиме позитивний ефект тільки у зоні впливу гірничих виробок та за умови обезводнення гірського масиву. Тому вилучення метану зосередилося на випереджаючій та поточній дегазації шахтних полів. Було встановлено, що основними показниками вугільних родовищ і шахт, які сприяють продуктивності метановилучення з вугільних пластів і вмісних порід у процесі випереджаючої та поточної дегазації [1, 3, 4, 5]:

- природна газоносність (металоємність) вугілля і газоносність вміщуючих порід (головним чином пісковиків);
- металоємність, пористість і проникність колекторів метану;
- ступінь метаморфізму вугілля та катагенезу вміщуючих порід і їх петрографічний склад;
- характер тріщинуватості вугільних родовищ і шахтних полів і наявність декількох систем тріщин;
- глибина розповсюдження зони газового вивітрювання та закономірності зміни газоносності метаноносійного колектора з глибиною;
- газовий тиск метану в масиві та його співвідношення з гідростатичним тиском;
- кінетика і швидкість метановіддачі вугільного пласта та гранулярного колектора в дегазаційні свердловини і гірничі виробки;

- сприятлива геодинаміка метановугільного масиву в стані розтягування або слабкого стиснення;

- дані щодо газового тиску в колекторі метану, температури пласта, його порушеності, обводненості та залишкового вологонасичення;

- максимальна концентрація в межах дегазаційних ділянок вугільних пластів потужністю від 0,6 до 2,0 м, зольність вугілля менше 30 % і об'ємною газопроникністю більше 0,1 мілідарсі, відбивною здатністю вітриніту R_0 від 0,75 до 2,5 % (марки Г, Ж, К, ПС і П) та виходом летких речовин від 21 до 30 % з максимальними значеннями вільного газовиділення у газокернонабірниках (ГКН).

Технологія вилучення метану з підроблених поверхневих свердловин дозволяє значно збільшити обсяги його видобування за рахунок часткового розвантаження вугільно-породного масиву від гірського тиску на діючих шахтних полях. Підземна технологія вилучення метану із часткового розвантаження вугільно-породного масиву здійснюється за рахунок буріння підземних направлених горизонтальних свердловин вздовж очисної виробки та підземними поперечними (діагональними) свердловинами, пробуреними зі штреків для дегазації прилеглого до нього підробленого і надробленого породного масиву [1, 4].

В цілому, перспективи рентабельного вилучення газу метану із вугільних родовищ і шахтних полів та здатність його витримати економічну конкуренцію з імпортним природним газом залежить від шести основних взаємопов'язаних чинників:

- комплексного вилучення метану на усіх етапах освоєння вугільних родовищ або шахтних полів;

- достатнього дебіту та продуктивного функціонування дегазаційно-видобувних свердловин строком до 12-15 років;

- низьких капітальних і експлуатаційних витрат;

- наявністю ефективного методу його утилізації та (або) конкурентоспроможного за ціною ринку збуту вилученого метану;

- вирішальних (значних) об'ємів видобутку (вилучення) газу метану з окремої свердловини, ділянки, шахтного поля, площі та вуглепромислового району;

- припинення воєнної агресії РФ та відновлення Україною контролю над тимчасово окупованою частиною Донбасу з комплексним освоєнням найбільш перспективних вуглепромислових районів і шахтних полів у прибортових і периферійних зонах басейну.

Огляд науково-практичних аспектів і розробок. До визначення чинним законодавством України газу метану в якості самостійної горючої корисної копалини, в Донецькому басейні при досить високому рівні вивчення газоносності вугільних пластів і вміщуючих порід з точки зору забезпечення промислової безпеки вуглевидобутку, традиційно не визначалися деякі показники, які давно використовуються в провідних метановидобувних країнах світу (США, Австралії ТА Китаю) для моделювання основних колекторів метану, оцінки їх металоємності та газовіддачі з метою організації промислового видобутку газу метану. Зокрема це стосується визначення молекулярних форм метану у кам'яному вугіллі, об'ємної проникності та швидкості десорбції й газовіддачі вугільних пластів у природних умовах залягання, які є обов'язковими для обґрунтування технологічних етапі, схем і методів завчасної або випереджаючої дегазації вугільних родовищ і шахтних полів, Також з метою забезпечення достовірної оцінки видобувних і дегазаційних запасів газу метану в кондиційних вугільних пластах і газоносних верствах пісковиків з врахуванням схем і технологій його ефективного вилучення треба вивчити і моделювати розподіл метану в пластах-колекторах, дослідити його вільну і адсорбовану (поверхнево-сорбовану) форми та враховувати, що вміст вільного метану у вугільних пластах майже прямо пропорційно зростає із збільшенням глибини їх залягання тощо. При цьому обов'язково брати до уваги, що для здійснення безпечного видобутку вугілля із газоносних вугільних пластів з навантаженням на лаву до 1 000 т на добу необхідно забезпечити ефективність поточної дегазації на рівні 20-25 %

від природної металоносності вугілля, при навантаженні на лаву – 1 505-2 000 т на добу – на рівні 30-35 %, при навантаженні на лаву понад 5 000 т на добу не менше 50 % від природної металоносності вугільних пластів і вмісних порід у зоні впливу гірничих порід і порушення щільності гірничого масиву [2, 3].

Перспективні потенційно видобувні запаси метану вугільних родовищ і шахт оцінюються головним чином у кондиційних вугільних пластах, вільна і адсорбована фракції (форми) якого можуть вилучатися на етапах завчасної (дочасної), випереджаючої та поточної дегазації шахтних полів. Молекулярно-пов'язаний з вугільною речовиною абсорбований метан, на долю якого приходиться від 38 до 56-60 % природної газоносності вугілля в залежності від стадії його метаморфізму, не може бути об’єктом підрахунку і обліку запасів газу метану як корисної копалини, оскільки він тісно молекулярно-пов'язаний з системою вугілля-метан і може виділити 90-92 % абсорбованого газу тільки за умови руйнування вугілля до фракції 3-5 мм [2]. Крім того, не залежно від ступеня дроблення, приблизно 10-12 % об’ємів метану, який визначається природною метаноносійністю, не піддається витягуванню за будь-яких обставин, відноситься до категорії залишкової метаноємності вугілля, залежить від ступеня метаморфізму, що зафіксовано нормативним документом [3], згідно якого об’єми надходження метану в лаву з вилученого вугілля розраховуються як різниця між природною та залишковою метаноємністю. Тому запровадження методичними вказівками ДКЗ України від 29.24.2009 № 161 терміну *запаси шахтного емісійного метану* і визначення видобувних запасів шахтного метану як частини запасів емісійного шахтного метану, що вилучається одночасно з веденням очисних робіт вакуум-насосними станціями, не сприяло організації завчасної дегазації вугільних родовищ і сталому розвитку метановидобувної галузі в Донбасі. По суті методичними вказівками ДКЗ України запропоновано затверджувати і обліковувати об’єм метану, який буде розубожений до безпечних фонових концентрацій і вирішуватиме (забезпечувати) екологічну та промислову безпеку вуглевидобутку, а не достовірно визначати ресурсну складову газу метану як самостійної або супутньої корисної копалини.

Загальновідомо, що при розрахунках об’ємів провітрювання гірничих виробок нормативними документами щодо забезпечення промислової безпеки вуглевидобутку передбачено обмеження концентрації метану у вентиляційних потоках (струменях) повітря в гірничих виробках до 1 і до 2 % короткостроково на робочих місцях у виїмкових дільницях. Однак згідно з нормативними документами України, концентрація метану в суміші для використання в якості енергетичної сировини повинна перевищувати 25 %, а з урахуванням нерівномірності надходження газової суміші для забезпечення стабільної роботи обладнання – 35 %. Тобто об’єм шахтного газу метану доцільно підраховувати, затверджувати і обліковувати як *видобувні (вилучені) запаси дегазаційного метану* з концентрацією метану в суміші більше 30 % (ресурсна складова) та визначати в якості *ресурсів вентиляційний метан* (екологічна складова) з некондиційною концентрацією метану в суміші менше 25 %. В цілому, не зважаючи на незначні методичні та технологічні обмеження необхідно зазначити, що завдяки дослідженням геологорозвідувальних підприємств і наукових організацій після проголошення незалежності України та запровадженню ефективних механізмів державного регулювання, вилучення газу метану було обґрунтовано не тільки як обов’язкова передумова безпечного вуглевидобутку, але й як самостійне видобування – рівнозначне із видобутком кам’яного вугілля та як економічно обґрунтоване виробництво газометанової енергетичної сировини [3, 4, 5].

Перспективи відновлення видобування, вилучення та утилізації газу метану в Донецькому басейні. Перш за все відновлення функціонування метановидобувної галузі в Донецькому басейні можливе тільки після звільнення окупованих Російською Федерацією південно-східних регіонів України, відновлення перспективного шахтного фонду та забезпечення комплексного інноваційно-інвестиційного освоєння рентабельних

вугільних родовищ і високопродуктивних шахтних полів. Крім того, на початковому етапі необхідно буде здійснити типізацію шахтних полів, розвіданих і резервних ділянок стосовно газометанового потенціалу вугільних пластів і гранулярних колекторів, обґрунтувати потенційну їх газовіддачу та обсяги вилучення газу метану у відповідності до стадій освоєння вугільних родовищ і шахтних полів.

Ефективність вилучення газу метану з шахтних полів відновлених і закритих вугільних шахт залежатиме як від природних і техногенних чинників, так і від технологічних схем і методів та технічних засобів завчасної або випереджаючої дегазації вуглепородного масиву. В першу чергу необхідно буде визначити питому емісію метану як за рахунок дегазації вугільних пластів, так і методом обґрунтування об'єму надходження (виділення) вільного та адсорбованого газу з породного масиву – емісійного газу метану вуглеросної товщі в зоні розвантаження гірського масиву. Відповідна методика в 2025 році розроблена в Інституті геотехнічної механіки (ІГТМ) НАН України.

Поетапне видобування газу метану з вугільних пластів відновлених як і діючих вугільних шахт необхідно починати після відкачування шахтних вод до технологічного рівня із завчасною дегазацією периферійних частин шахтних полів, а потім здійснювати комплексну дегазацію шахт в процесі вуглевидобутку. При цьому треба враховувати схему гірничих виробок, навантаження вуглевидобутку на лаву, швидкість просування очисних робіт, марку, загальну та сорбційну метаноємність вугілля, а також зміну потенційної газовіддачі вугільних пластів у залежності від глибини їх залягання та стадії метаморфізму вугілля.

Організацію видобування газу метану на полях закритих шахт необхідно розпочинати з врахуванням схеми гірничих виробок, їх затоплення підземними (шахтними) водами та вивченням стану і особливостей будови гірського масиву в цілому. Загально відомо, що метановиділення із порушеного гірського масиву закритих шахт продовжується протягом десятків років після закінчення вуглевидобутку та закриття шахт. За даними зарубіжних джерел об'єм метану, який може акумулюватися у виробленому просторі закритих шахт, у 2-3 рази перевищує його об'єм, який виділився в процесі вуглевидобутку. Тому при організації видобування газу метану із закритих вугільних шахт необхідно враховувати схему гірничих виробок, їх метанозбагаченість, наявність техногенних пасток, їх невідпрацьованих пластів, природну і залишкову метановість вугільних пластів і вміщуючих порід, потужність і кути нахилу пластів, площу виймальних ділянок, спосіб управління та прогнозні обсяги водопритоків тощо.

Дегазацію верств газоносних пісковиків на полях діючих і закритих шахт необхідно проводити у відповідності зі схемами дегазації вугільних пластів з врахуванням мережі гірничих виробок і швидкості просування очисних робіт. При бурінні дегазаційних свердловин із гірничих виробок або із денної поверхні необхідно обов'язково враховувати, що пористість пісковиків вуглеросної товщі карбону з глибини від 250 м до 2000 м зменшується з 16,3 % до 2 %, а газонасичення пор залежить від проникності пісковиків та їх водонасичення. Зокрема при водонасиченні пісковиків менше 20 % і проникності більше 1 мілідарсі газонасичення відкритих пор пісковиків досягає 60-70 % (типовий газоносний колектор), при їх водонасиченні 20-30 % і проникності 0,7-1 мілідарсі газонасичення пор пісковиків складає 40-50 %, при водонасиченні пісковиків 40-50 % і проникності 0,3-0,7 мілідарсі зменшується до 25-30 %, а при водонасиченні більше 50 % і проникності 0,1-0,3 мілідарсі газонасичення пор щільних пісковиків не перевищує 10-15 % [2, 3]. Тому потенційно сприятливими для вилучення газу метану із газоносних пісковиків доцільно вважати верстви гранулярних щільних колекторів проникністю більше 0,3 мілідарсі та водонасиченням менше 40 %.

За даними ІГТМ НАН України підвищенню ефективності видобування газу метану вугільних шахт і вільного газу із щільних пісковиків сприятиме наявності в межах шахтних полів локальних антиклінальних складок та обґрунтування ефективності потужності пісковика як гранулярного колектора.

Таким чином, набутий до 2014 року досвід видобування газу метану, досягнення геологічної науки і практики та результати дослідно-промислових і промислових робіт у межах вуглепромислових ділянок і шахтних полів переконливо свідчить про можливість та доцільність відновлення промислового видобування газу метану в Донецькому басейні після звільнення, окупованих Російською Федерацією, територій українського Донбасу.

Висновки. Становленню метановидобувної галузі в українській частині Донецького вугільного басейну сприяли: комплексна вивченість вугільних родовищ, недостатні обсяги власного видобування природного газу, інтенсивний розвиток технологій вилучення вугільного метану в США, Китаї та Австралії, прийняття Законів України «Про газ (метан) вугільних родовищ» в «Про альтеративні джерела енергії» та поетапна реалізація «Енергетичної стратегії України на період до 2030 (2035) року». Це забезпечило у 2012-2013 роках збільшення вилучення системами комплексної дегазації газу метану до 1,5 млрд $м^3$ на рік, з яких 45 % було використано для виробництва теплової й електричної енергії та продажу квот на зменшення шкідливих викидів за Кіотським протоколом.

Однак, через неконтрольованість Україною з 2014 року чималої частини Донецької та Луганської областей і початок 24.02.2022 року збройної агресії Російської Федерації проти України, знищення або окупацію трьох чвертей виробничих потужностей шахтного фонду, метановидобувна галузь Донбасу припинила своє функціонування, крім Західного Донбасу.

Разом з тим, результати комплексних досліджень геологорозвідувальних підприємств і наукових організацій та набутий досвід вуглевидобувних підприємств гарантують відновлення функціонування метановидобувної галузі Донбасу після звільнення окупованих південно-східних регіонів України та інноваційно-інвестиційного відновлення перспективного шахтного фонду Донецького вугільного басейну.

Список використаних джерел:

1. Брижанев А.М. Изучение закономерностей распределения углеводородных газов в угленосных отложениях Донецкого бассейна и проблема их использования в народном хозяйстве – Донецк, 1987.
2. Жикаляк М.В., Бондар О.П. Геологічні чинники підвищення вуглеводного потенціалу Юзівської площі // Матеріали X міжнародної науково-практичної конференції «Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування», 7-12.10.2025, Львів-Київ – С. 548-554.
3. Жикаляк М.В., Лукінов В.В. Аналіз тенденцій деградації високо технологічних чинників розвитку метановидобувної галузі в Україні // Матеріали X міжнародної науково-практичної конференції «Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування», 8-11.10.2025, Львів-Київ – С. 94-101.
4. Матеріали міжнародного семінару «Видобування та використання шахтного метану: Перспективи розвитку» // Комітет Верховної Ради України з питань паливно-енергетичного комплексу за участю Global Methan Initiative та Pacilic Nortwest National laboratory (США) – Київ, 10.12.2013.
5. Тердовидов А.С., Джамалова Х.Ф., Лапчинский Ю.Г. Отчет о научно-исследовательской работе «Оценить ресурсы углеводородных газов угольных месторождений Донбасса и разработать рациональный комплекс поисково-разведочных работ» – УкрНИИгаз, 1990.

УДК 330.15:553.04:347.7

ГРОШОВА ОЦІНКА ПРИВАБЛИВОСТІ УГОД ПРО РОЗПОДІЛ ПРОДУКЦІЇ

Коновал В.І., *slavakonoval@gmail.com*
Міжнародна асоціація юристів-міжнародників, Київ, Україна

Окреслено основні економічні підходи, що стосуються оцінки привабливості угод про розподіл продукції. Проведено порівняльний аналіз між сучасними підходами в оцінці інвестування, зокрема, угод про розподіл продукції. Запропоновано шляхи удосконалення оцінки угод про розподіл продукції з метою визначення їх рівня економічної привабливості.

MONETARY ASSESSMENT OF ATTRACTIVENESS PRODUCTION SHARING AGREEMENT

Konoval V., *slavakonoval@gmail.com*
International Law Association, Kyiv, Ukraine

The main economic approaches related to the assessment of the attractiveness of production sharing agreements are outlined. A comparative analysis was conducted between modern approaches to investment valuation, in particular, production sharing agreements. Ways to improve the assessment of production sharing agreements in order to determine their level of economic attractiveness are proposed.

Вступ. На сьогодні значення та роль угод про розподіл продукції переважно оцінюються через кількісні та економічні показники, зокрема площу ділянок надр, наданих інвестору (інвесторам) у користування, обсяг інвестицій, спрямованих на геологічне вивчення та видобування корисних копалин, обсяги видобутої мінеральної сировини, частку інвестора (інвесторів) у розподілі прибуткової продукції, а також обсяг коштів, спрямованих на виконання соціальних та інших договірних зобов'язань.

Вищезазначені показники впливають на визначення привабливості умов інвестування, наприклад, за наслідком проведеного конкурсу з укладення угоди про розподіл продукції [1].

Однак, сучасні підходи в оцінці рівня привабливості міри «грошового виразу» угод про розподіл продукції не здійснюються, адже відсутні, як регуляторні, так і проектні основи для такої оцінки.

Варто зауважити, що в українській та зарубіжній науковій літературі питання грошової оцінки привабливості угод про розподіл продукції досі не стало предметом комплексного дослідження. У зв'язку з цим відсутність ґрунтовних теоретичних напрацювань у цій вузькоспеціалізованій сфері зумовлює актуальність і наукову доцільність подальшого дослідження зазначеної проблематики.

Фундамент грошової оцінки угод про розподіл продукції складають два взаємопов'язані структурні елементи:

операційний компонент, що охоплює виробничо-технологічні та організаційні аспекти реалізації угоди;

фінансовий компонент, який включає систему економічних показників, грошових потоків, інвестиційних витрат та фінансових результатів виконання угоди.

Пропоную операційні та фінансові компоненти розглянути більш детально.

Операційний компонент

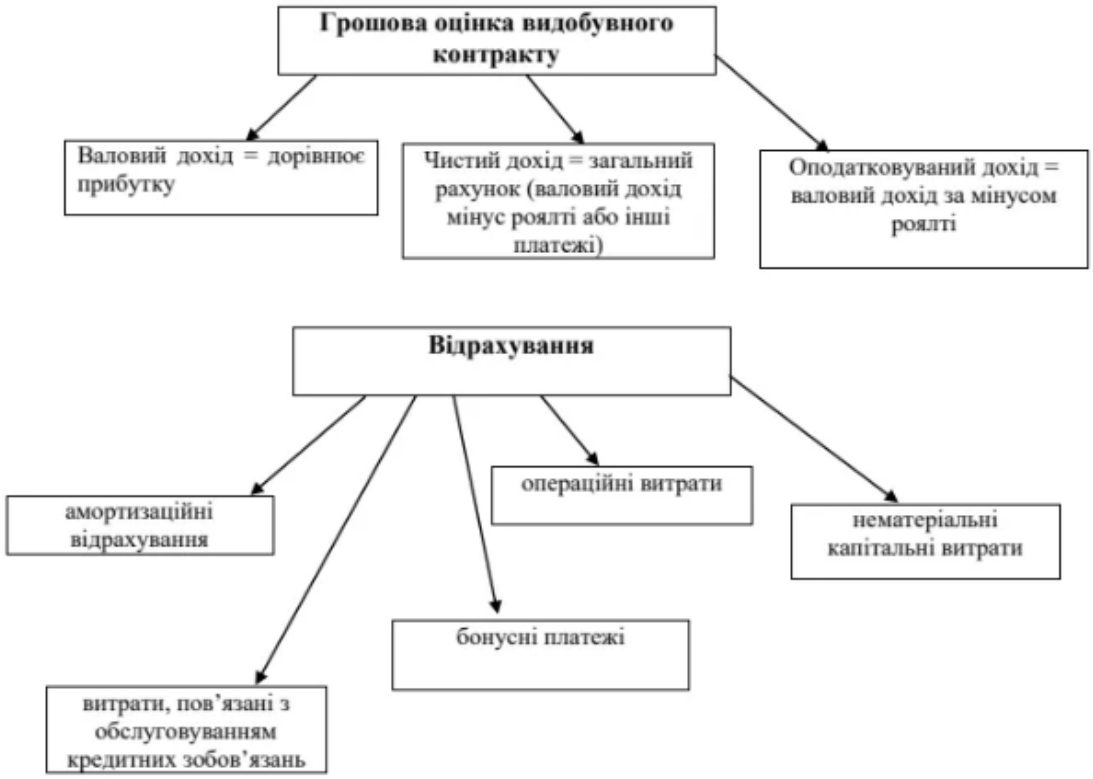
Операційний компонент грошової оцінки угод про розподіл продукції базується на формулі грошового вираження таких угод, запропонованій контрактним дослідником Мазеелем у праці *Fiscal Systems and Production Sharing Contracts* (2010).

Підхід Мазееля визначає методологічну основу для оцінки економічних параметрів угод про розподіл продукції шляхом систематизації ключових операційних показників, що впливають на їх грошову вартість.

На думку автора, *прогноз грошової оцінки базується на припущенні, що деякі класи капітальних витрат є нематеріальними та негайно відраховуються, тоді як матеріальні капітальні витрати амортизуються протягом п'яти років* [2].

Для прикладу він проводить дослідження родовища з 50 млн барелів видобувної нафти, у яких капітальні витрати становлять 174 млн доларів США, а розрахункові експлуатаційні витрати протягом терміну видобутку складають 300 млн доларів США.

Мазеель припускає, що видобуток на родовищі генеруватиме валовий дохід.



Водночас слід зазначити, що, виокремлюючи угоди про розподіл продукції як окремий вид видобувних контрактів, Мазеель не приділяє належної уваги аналізу їх специфічних ознак та особливостей правового й економічного функціонування.

Фінансовий компонент

До основних фінансових інструментів, що використовуються під час реалізації угоди про розподіл продукції, належать:

а) операції з купівлі-продажу іноземної валюти;

б) застосування ставки рентної плати.

Проведений аналіз формули, запропонованої Мазеелем, дає підстави виокремити низку її методологічних обмежень, а саме:

- обмеженості сфери застосування, оскільки формула не враховує особливості операцій, пов'язаних із видобуванням вуглеводнів;
- неврахування сум бюджетного відшкодування податку на додану вартість, що може впливати на достовірність грошової оцінки угод про розподіл продукції;
- ігнорування відсутності розвиненої ринкової інфраструктури для вторинного обігу (перепродажу) прав на «природний актив», що обмежує можливості практичного застосування запропонованої моделі інвесторами в межах угод про розподіл продукції.

Питання адаптації формули Мазееля до грошової оцінки угод про розподіл продукції залишається дискусійним і потребує подальшого наукового опрацювання.

Проте, з огляду на недостатній рівень дослідженості цієї проблематики, доцільним є розроблення національного підходу до грошової оцінки привабливості угод про розподіл продукції.

Такий підхід має ґрунтуватися на відмінній від концесійній концепції, запропонованій Мазеелем, водночас враховувати особливості правової природи угод про розподіл продукції та практику їх укладення і виконання в Україні.

Таким чином нижче пропонується модель національної шкали грошової оцінки привабливості угод про розподіл продукції.

На підставі проведеного аналізу можна дійти висновку, що найбільш прийнятною моделлю грошової оцінки угод про розподіл продукції, яка найбільшою мірою відповідає правовій та економічній природі угод про розподіл продукції незалежно від виду корисної копалини, є модель, що ґрунтується на таких складових:

Рік дії угоди про розподіл продукції	Величина видобутку	Валовий дохід після вирахування податків та зборів	Загальна сума всіх бонусів	Група нематеріальних активів та їхня вартість	Капітальні витрати	Ціна активу за рік	Загальна сума податкових витрат та ренти

До складу податкових витрат доцільно включати суму щорічно відшкодованих податкових платежів.

Підсумовуючи викладене, слід зазначити, що сучасні підходи до грошової оцінки інвестиційної привабливості угод про розподіл продукції переважно ґрунтуються на методології, розробленій для концесійних моделей надрокористування, та орієнтовані насамперед на розрахунок витрат інвестора.

Разом з тим, для угод про розподіл продукції, як самостійного інвестиційного механізму досі не сформовано цілісної економічної методології та уніфікованих підходів до оцінки, що зумовлює необхідність їх подальшого наукового розроблення.

Список використаних джерел:

1. Закон України № 1039-XIV «Про угоди про розподіл продукції». Офіційний вісник України, 22.10.1999, № 40, ст. 1980, стаття 7, код акта 11607/1999.

2. Mazeel N. *Fiscal Systems and Production Sharing Contracts*, Hamburg, 2010.

УДК 349.412:622.1(477):061.1ЄС

ТЕМП НОРМОТВОРЕННЯ У СФЕРІ НАДРОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ: КІЛЬКІСНИЙ АНАЛІЗ ЗАКОНОДАВЧОГО ПРОЦЕСУ, КРИТИЧНІ РЕГУЛЯТОРНІ ПРОГАЛИНИ ТА ПОРІВНЯННЯ ЗІ ШВИДКІСТЮ РЕФОРМ ЄС

Колотієвський Р.П., *kolotievskiy@dkz.gov.ua,*
Державна комісія України по запасах корисних копалин, м. Київ, Україна

Статтю присвячено системній проблемі темпу й моделі законодавчого процесу у сфері надрокористування України. На основі хронологічного аналізу редакцій Кодексу України про надра встановлено, що галузь розвивається не через послідовну кодифікацію, а через фрагментарне латання окремих статей. Окремо розглянуто кейс законопроєкту № 12180 «Про управління відходами видобувної промисловості» (реєстрація Кабінетом Міністрів 05.11.2024), який імплементує Директиву 2006/21/ЄС: документ пройшов схвалення Кабінетом Міністрів і позитивний висновок профільного комітету (05.12.2024), однак 4 червня 2025 р. був відхилений Верховною Радою в першому читанні. Проаналізовано підзаконний акт технічного характеру, як граничний приклад регуляторного анахронізму Єдині правила охорони надр при розробці родовищ твердих корисних копалин (НПАОН 00.0-1.01-85), затверджені постановою Держгіртехнагляду СРСР від 14.05.1985 № 22, які за понад три десятиліття незалежності України не зазнали системного оновлення - на відміну від аналогічного за віком і статусом акта в маркшейдерії, повністю заміненого наказом Мінекономіки № 669 від 31.03.2021. Для порівняння проаналізовано швидкість ухвалення Регламенту (ЄС) 2024/1252 про критичну сировину (Critical Raw Materials Act): від пропозиції Європейської Комісії (16.03.2023) до набрання чинності (23.05.2024) минуло близько 14 місяців. Швидке ухвалення Регламенту (ЄС) 2024/1252 за 14 місяців замість звичних кількох років доводить, що за наявності найвищого геополітичного пріоритету та консенсусу щодо стратегічної сировинної незалежності розгалужена система ЄС із двох співзаконодавців, п'яти профільних комітетів та двох консультативних органів здатна діяти в режимі максимальної консолідації та бюрократичної ефективності. Сформульовано пропозиції щодо зміни інституційної моделі законотворчого процесу в галузі.

Ключові слова: надрокористування, Кодекс України про надра, нормотворення, відходи видобувної промисловості, ЄПОН, Регламент (ЄС) 2024/1252.

REGULATORY DEVELOPMENT PACE IN THE SPHERE OF SUBSOIL USE IN UKRAINE: QUANTITATIVE ANALYSIS OF LEGISLATIVE PROCESS, CRITICAL REGULATORY GAPS AND COMPARISON WITH THE PACE OF EU REFORMS

Kolotiievskyi R., *kolotievskiy@dkz.gov.ua,*
State Commission of Ukraine on Mineral Resources, Kyiv, Ukraine

Systemic issues with the pace and model of legislative process in Ukraine's subsoil use sector has been examined. Based on a chronological analysis of various versions of the Subsoil Code of Ukraine, it has been established that the sector is developing not by using consistent codification but by patchwork amendments to separate articles. A separate analysis has been provided for the draft law No. 12180 "On the Management of Waste from the Extractive Industries" (registered by the Cabinet of Ministers on 5 November 2024), which implements Directive 2006/21/EU: the document was approved by the Cabinet of Ministers and received a favourable assessment from the relevant committee (5 December 2024), but it was rejected by the Verkhovna Rada in the first reading on 4 June 2025. A technical subordinate legislative act has been analysed as an extreme example of regulatory anachronism: the Uniform Rules for the Subsoil Protection during the Development of Solid Mineral Deposits (NPAON 00.0-1.01-85), approved by the Resolution No. 22 of the USSR State Mining Supervision Authority dated 14 May 1985, which, over more than three decades of Ukraine's independence, have not undergone any systematic updating, in contrast to a regulation of similar age and status in the field of mine surveying, which was completely replaced by Order of the Ministry of Economy No. 669 dated 31 March 2021. For comparison purposes, the speed at which the Regulation (EU) 2024/1252 on critical raw materials (the Critical Raw Materials Act) was adopted has been analysed: approximately 14 months elapsed between the European Commission's proposal (16 March 2023) and its entry into force (23 May 2024). The rapid adoption of Regulation (EU) 2024/1252 within 14 months, rather than the usual several years, demonstrates that, given the highest geopolitical priority and consensus on strategic raw materials independence, the EU's complex system comprising two co-legislators, five specialised committees and two advisory bodies is capable of operating with maximum cohesion and bureaucratic efficiency. Proposals have been developed to amend the institutional model of the legislative process in this sector.

Keywords: subsoil use, Subsoil Code of Ukraine, regulatory development, extractive industry waste, URSP, Regulation (EU) 2024/1252.

Вступ. Дискусія про якість надрового законодавства України зазвичай зосереджується на змісті конкретних норм. Проте не менш важливим і значно менш дослідженим є питання про темп і модель законотворчого процесу: як швидко ухвалюються зміни, наскільки послідовно вони узгоджені між собою і чому одні акти оновлюються щороку, а інші залишаються незмінними десятиліттями. Ця робота ставить за мету дати системний, а не фрагментарний погляд на проблему, використовуючи Єдині правила охорони надр (НПАОН 00.0-1.01-85) [14], як ілюстративний граничний випадок регуляторної застарілості в контексті ширшої картини.

Актуальність теми посилюється тим, що з 2022 р. Україна перебуває в режимі воєнної мобілізації регуляторних ресурсів та підвищеного міжнародного інвестиційного інтересу до критичних і стратегічних корисних копалин - Угода між Урядом України та Урядом Сполучених Штатів Америки про створення Американсько-українського інвестиційного фонду відбудови, підписана 30.04.2025 і ратифікована Верховною Радою 08.05.2025 [18]. У цих умовах швидкість і передбачуваність законотворчого процесу є самостійним фактором інвестиційної привабливості, не менш важливим, ніж зміст конкретних ставок чи процедур.

1. Матеріали та методи

Використано хронологічний аналіз редакцій Кодексу України про надра [1] за офіційними даними Верховної Ради України (zakon.rada.gov.ua) та картками законопроєктів на сайті Верховної Ради; контент-аналіз законопроєктної документації Кабінету Міністрів України та Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України щодо проєкту Закону «Про управління відходами видобувної промисловості»; порівняльно-правовий аналіз відомчих наказів технічного характеру, а також наративний аналіз законодавчого процесу ЄС на прикладі Регламенту (ЄС) 2024/1252 [16] за матеріалами Європейського Парламенту [17] та профільних юридичних оглядів.

2. Результати аналізу

2.1. Кількісна динаміка змін до Кодексу України про надра

Кодекс України про надра діє з 27.07.1994 (Закон № 132/94-ВР) [1]. За понад три десятиліття він неодноразово змінювався окремими законами; лише за останні три роки до нього внесено щонайменше два системні за обсягом закони: № 2805-IX від 01.12.2022 «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо удосконалення законодавства у сфері користування надрами» [3] - так званий «малий кодекс про надра», що втричі скоротив строки отримання спеціальних дозволів, запровадив наскрізні дозволи на розвідку і видобування та можливість продажу спецдозволів їх власниками, - та № 4154-IX від 18.12.2024 (законопроєкт реєстр. № 6227 від 27.10.2021, ухвалений у другому читанні й підписаний Президентом 15.01.2025) [2], який доповнив статтю 6 Кодексу частинами другою–сьомою та запровадив категорії корисних копалин і компонентів стратегічного та критичного значення, гармонізовані з термінологією Регламенту (ЄС) 2024/1252 [16].

Показово, що ця активність має переважно фрагментарний, а не системний характер: кожен закон вносить точкові зміни до окремих статей у відповідь на конкретну проблему (дерегуляція, електронний кабінет, критичні мінерали тощо), а не є частиною єдиного плану кодифікації. Спроба протилежного підходу - повна рекодифікація галузі вже здійснювалася: Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України оприлюднило (17.02.2021) для громадського обговорення проєкт нового Кодексу України про надра, прикінцеві положення якого передбачали набрання чинності з 1 січня 2022 р. і скасування чинного Кодексу 1994 р. разом із Законами «Про нафту і газ», «Про угоди про розподіл продукції», «Гірничим законом України» та іншими профільними актами [5]. Ця повна кодифікація не була реалізована; натомість законодавець обрав шлях точкових поправок (закони № 2805-IX, № 4154-IX та подальші), що є показовим прикладом розбіжності між задекларованими намірами регуляторної реформи та її фактичною інституційною траєкторією.

Приклад наслідків для практики. Фрагментарна модель нормотворення пояснює структурну проблему, коли зміни вносяться точково (наприклад, скасування інституту

гірничого відводу для кар’єрів, - див. п. 3.3), похідні технічні наслідки такої зміни для суміжних інститутів (методика визначення меж ділянки надр для кар’єрів) залишаються неврегульованими, оскільки поправка не супроводжується системним переглядом усього масиву підзаконних і відомчих актів, що посилаються на скасовану норму.

2.2. Кейс законопроєкту № 12180 «Про управління відходами видобувної промисловості»

Найпоказовіший приклад розриву між нагальністю проблеми та результатом її законодавчого розв’язання - причому розриву гострішого, ніж просте затягування розгляду. Базовий рамковий Закон України від 20.06.2022 № 2320-IX «Про управління відходами» [6], чинний з 09.07.2023, замінив Закон України від 05.03.1998 № 187/98-ВР «Про відходи» [7], тобто рамкове регулювання відходів не переглядалося 25 років. Закон № 2320-IX прямо визнає в прикінцевих положеннях, що до прийняття окремого закону управління відходами видобувної промисловості здійснюється за нормами самого рамкового закону, оскільки Директива 2008/98/ЄС, яка є методологічною основою Закону № 2320-IX, не поширюється на відходи видобувної промисловості, для яких у праві ЄС діє окрема Директива 2006/21/ЄС [15].

Кабінет Міністрів України 05.11.2024 зареєстрував у Верховній Раді законопроєкт № 12180 «Про управління відходами видобувної промисловості» [8], розроблений Міністерством захисту довкілля та природних ресурсів України з метою імплементації Директиви 2006/21/ЄС. Законопроєкт запроваджує принципово новий інструмент - план управління відходами для кожного об’єкта видобування, а також нову класифікацію об’єктів поводження з відходами, включно з категорією об’єктів, аварія на яких може мати значні наслідки. Це прямо релевантно для техногенних родовищ: саме відвали, хвостосховища й шламосховища, врегульовані цим законопроєктом, є базою техногенних родовищ, значення яких для вторинного видобування критичних і стратегічних металів визнається як Класифікацією запасів і ресурсів корисних копалин державного фонду надр (постанова КМУ № 432 від 05.05.1997) [12], так і чинними технічними правилами (зокрема Правила виконання маркшейдерських робіт, наказ Мінекономіки № 669 від 31.03.2021, містять окремий розділ щодо маркшейдерського забезпечення розробки техногенних родовищ) [13]. Отже, технічне регулювання техногенних родовищ в Україні вже існує, й є відносно сучасним, тоді як екологічно-правова рамка поводження з відходами, які власне формують ці техногенні родовища, досі не ухвалена як закон.

Хронологія законопроєкту №12180: 05.11.2024 - реєстрація Кабінетом Міністрів [8]; 05.12.2024 - позитивний висновок Комітету Верховної Ради з питань екологічної політики та природокористування про прийняття за основу [9]; попри це, 04.06.2025 Верховна Рада не підтримала законопроєкт у першому читанні [10]. Станом на вересень 2026 р. Національна асоціація добувної промисловості України (НАДПУ) звернулася до профільного комітету Верховної Ради із закликом відновити роботу над законопроєктом, наголошуючи, що затягування створює ризики і для бізнесу, і для держави, а також ставить під загрозу виконання зобов’язань за Угодою про асоціацію з ЄС [11]. Тобто йдеться не про технічну затримку розгляду, а про пряму відмову парламенту ухвалити євроінтеграційний акт, готовий і схвалений на рівні уряду.

Ціна затримки для галузі. За офіційними оцінками Кабінету Міністрів у рамках презентації законопроєкту, відходи видобувної промисловості становлять близько 70 % усіх відходів, що утворюються в Україні [9]. Відсутність законодавчо визначеного механізму плану управління відходами призводить до свавілля несумлінних надрокористувачів через брак єдиних правил рекультивації, блокує інвестиції у вторинну переробку техногенних родовищ через юридичну невизначеність їхнього статусу та створює суттєві бар'єри для євроінтеграції у межах екологічного скринінгу ЄС.

2.3. Єдині правила охорони надр при розробці родовищ твердих корисних копалин (1985 р.) як граничний приклад

Єдині правила охорони надр при розробці родовищ твердих корисних копалин (НПАОН 00.0-1.01-85) залишаються найбільш показовим, але вже не єдиним, прикладом розриву між темпом законодавчих новацій і темпом оновлення підзаконного технічного регулювання. Документ затверджено постановою Держгіртехнагляду СРСР від 14.05.1985 № 22 [14]. За понад три десятиліття незалежності України він жодного разу не оновлювався, попри: скасування інституту гірничого відводу для кар'єрів (Закон № 2805-IX, ст. 24 Кодексу) [3]; запровадження оцінки впливу на довкілля (ст. 33-1 Кодексу); ухвалення нової ієрархії поводження з відходами (Закон № 2320-IX) [6]; запровадження Єдиної державної електронної геоінформаційної системи користування надрами (ст. 5-1 Кодексу, введена Законом № 2805-IX) [3]; гармонізацію із європейською класифікацією запасів (постанова КМУ № 432 від 05.05.1997) [12]; а також застарілі правові та інституційні апарати («Госгортехнадзор СССР», «ГКЗ СССР», «Министерство», «Основы законодательства Союза ССР). Це породжує, зокрема, пряму колізію щодо меж правомірної діяльності кар'єрів: наприклад, межі спеціального дозволу історично прив'язані до контуру підрахунку запасів, тоді як технологічний контур гірничих робіт (борти, уступи, з'їзди, запобіжні цілики) об'єктивно ширший за контур покладу, а гірничий відвід, який міг би легалізувати цей вихід за контур запасів для кар'єрів, більше не оформлюється.

Показово, що прецедент повної заміни аналогічного за віком радянського акта вже реалізовано в суміжній підгалузі: наказ Міністерства розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України від 31.03.2021 № 669 «Про затвердження Правил виконання маркшейдерських робіт під час розробки родовищ рудних та нерудних корисних копалин» (зареєстрований у Мін'юсті 06.07.2021 за № 884/36506) прямо скасував Інструкцію з виконання маркшейдерських робіт, затверджену Держгіртехнаглядом СРСР 20.02.1985 (НПАОН 74.2-5.01-85), і низку суміжних радянських інструкцій [13]. Це довело практичну реалізованість такого кроку. Те, що аналогічна робота щодо ЄПОН - документа набагато ширшого і фундаментальнішого для всієї галузі - досі не виконана, ілюструє загальну тезу цієї статті: модернізація відбувається вибірково й непослідовно, а не як частина єдиної програми оновлення технічного регулювання надрокористування.

3. Порівняння зі швидкістю нормотворення в Європейському Союзі

Найбільш показовим компаративним прикладом є Регламент (ЄС) 2024/1252 Європейського Парламенту і Ради від 11.04.2024, яким затверджено Акт про критичні сировинні матеріали (Critical Raw Materials Act, CRMA) [17]. Документована хронологія: 16.03.2023 - пропозиція Європейської Комісії; 13.11.2023 - попередня політична угода Парламенту й Ради за результатами трилогу; 18.03.2024 - остаточне ухвалення Радою; 03.05.2024 - публікація в Офіційному віснику ЄС (OJ L 2024/1252); 23.05.2024 - набрання чинності [17]. Таким чином, від пропозиції Комісії до набрання чинності регламентом, застосовним у 27 державах-членах, минуло приблизно 14 місяців - попри необхідність узгодження позицій Європейського Парламенту (профільний комітет ITRE) та Ради (27 національних урядів).

Особливо релевантним для порівняння з українською практикою є запроваджений CRMA інститут «стратегічного проєкту» (Strategic Project): регламент встановлює юридично зафіксовані граничні строки дозвільних процедур - не більше 27 місяців для видобувних проєктів і 15 місяців для проєктів переробки/рециклінгу, з можливістю продовження щонайбільше на 6 місяців у виняткових випадках, та обов'язком держав-членів створити «єдині офіси» (one-stop shops) для координації всієї дозвільної процедури.

Це зіставлення не слід тлумачити спрощено як доказ переваги європейської моделі законотворення як такої: ЄС має власні системні недоліки (обмежена прозорість переговорів, звужена роль національних парламентів), а незалежні огляди станом на 2025–2026 рр. фіксують, що лише 16 із 27 держав-членів станом на листопад 2025 р. фактично створили передбачені регламентом «єдині офіси», що ставить під сумнів практичну

ефективність задекларованих строків. Однак зіставлення демонструє два структурно важливі фактори швидкості, відсутні в українському процесі щодо профільних галузевих законів мирного часу: 1) чітко зафіксований політичний дедлайн і кросінституційна координація - регламент розроблявся в межах наперед оголошеного графіка із визначеними етапами; та 2) пакетний підхід, коли супутні підзаконні акти (методики визначення критичності, критерії стратегічних проєктів, порядок роботи «єдиних офісів») розроблялися паралельно з текстом регламенту, а не після набрання ним чинності.

Показово, що саме за такою пакетною логікою в Україні розвивається інститут критичних/стратегічних копалин: закон від 18.12.2024 № 4154-IX - перелік Кабінету Міністрів вже влітку 2025 р. (постанова № 845) [4]. Тобто модель швидкого пакетного ухвалення в Україні технічно доступна й уже застосовується вибірково, що додатково підкреслює непослідовність її незастосування до інших не менш нагальних питань (управління відходами видобувної промисловості, ЄПОН). На рис. 1 ця швидкість зіставлена з двома українськими кейсами.

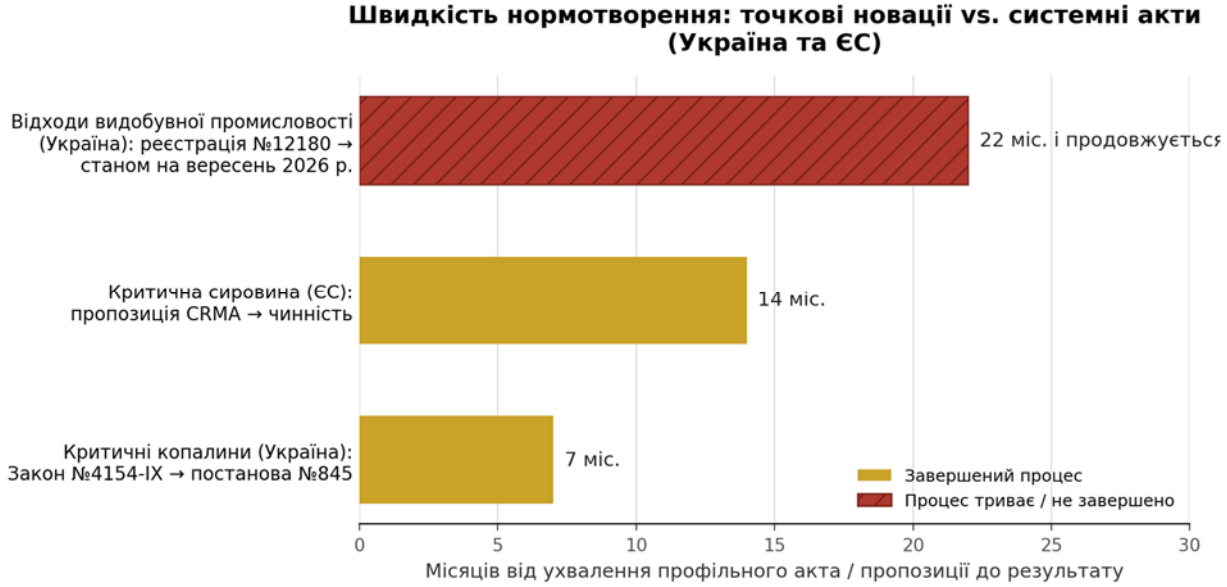


Рис. 1. Швидкість нормотворення: точкові новації / системні акти (Україна та ЄС)

4. Дискусія

Зіставлення трьох кейсів - динаміки змін до Кодексу (п. 3.1), історії законопроєкту про відходи видобувної промисловості (п. 3.2) і історії ЄПОН (п. 3.4) - дає підстави для висновку, що в Україні одночасно співіснують дві різні швидкості законодавчого процесу в межах однієї галузі:

а) висока швидкість для точкових, політично мотивованих і міжнародно контрольованих новацій (критичні/стратегічні копалини)

б) практично нульова або навіть негативна швидкість для системних, непомітних для широкої публіки, але фундаментальних для галузі актів: ЄПОН - 40 років без системного оновлення; законопроєкт про відходи видобувної промисловості - понад рік у портфелі Верховної Ради, включно з прямим відхиленням у першому читанні, без явного політичного тиску ззовні, здатного компенсувати внутрішню відсутність консенсусу.

Це наштовхує на висновок, що проблема не в браку законотворчого потенціалу як такого: Україна довела здатність ухвалювати комплексні профільні акти за лічені місяці, коли є зовнішній тригер (донорська умовність Ukraine Facility, євроінтеграційний скринінг, двостороння угода з США). Проблема - у відсутності внутрішнього дедлайну та єдиної дорожньої карти для актів, які не мають прямого зовнішнього донорського/євроінтеграційного тиску достатньої політичної вартості, щоб подолати опір у Верховній Раді.

Відхилення законопроєкту № 12180 в першому читанні - при тому, що він одночасно є євроінтеграційним зобов'язанням і був схвалений урядом, - ілюструє, що навіть формальна євроінтеграційна рамка сама по собі недостатня без внутрішнього інституційного механізму, що убезпечував би профільні акти від разового негативного голосування без права на технічне доопрацювання за скороченою процедурою. Іншими словами, галузь потребує не додаткової мотивації для швидкого ухвалення нових прогресивних норм (цей механізм уже працює для «модних» тем на кшталт критичної сировини), а окремого інституційного механізму, що забезпечував би системний перегляд немодних, але базових технічних актів - насамперед ЄПОН і пов'язаного масиву підзаконного регулювання, - та повторний, прискорений розгляд відхилених, але євроінтеграційно значущих законопроєктів.

5. Висновки та пропозиції

Для підвищення інвестиційної привабливості та правової визначеності нормативно-правової бази надрокористування необхідно:

1. Запровадити обов'язковий регуляторний реєстр застарілих актів надрового законодавства з юридично зафіксованим графіком перегляду, розроблення та затвердження якого покласти на профільне міністерство - Міністерство економіки та довкілля України.

2. Невідкладно повернути законопроєкт № 12180 «Про управління відходами видобувної промисловості» до розгляду Верховної Ради, врахувавши зауваження, висловлені під час громадського обговорення й галузевими асоціаціями.

3. Запозичити з практики ЄС інститут стратегічного проєкту із законодавчо визначеними граничними строками розгляду дозвільної документації.

Список використаних джерел:

1. Кодекс України про надра: Закон України від 27.07.1994 № 132/94-ВР. Відомості Верховної Ради України. 1994. № 36. Ст. 340 (у редакції зі змінами). https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/132/94-вр

2. Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо оновлення Загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 року та регулювання деяких питань стосовно корисних копалин та компонентів стратегічного та критичного значення: Закон України від 18.12.2024 № 4154-IX. (Відомості Верховної Ради України. 2025. №№ 26–27. Ст. 82). https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4154-20

3. Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо удосконалення законодавства у сфері користування надрами: Закон України від 01.12.2022 № 2805-IX. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2805-20

4. Про затвердження переліків корисних копалин та компонентів стратегічного та критичного значення і переліків ділянок надр (родовищ корисних копалин) стратегічного та (або) критичного значення: Постанова Кабінету Міністрів України від 14.07.2025 № 845. https://www.kmu.gov.ua/news/uriad-zatverdyv-pereliky-krytychnykh-i-stratehichnykh-mineraliv-i-obiektiv-nadrokorystuvannia-dlia-nadannia-v-korystuvannia-na-umovakh-konkursiv-urp-ta-auktsioniv

5. Проект Кодексу України про надра: оприлюднений Міністерством захисту довкілля та природних ресурсів України для громадського обговорення (планове набрання чинності з 01.01.2022; не ухвалено). https://mepr.gov.ua/povidomlennya-pro-oprylyudennya-proyektu-kodeksu-ukrayiny-pro-nadra

6. Про управління відходами: Закон України від 20.06.2022 № 2320-IX (чинний з 09.07.2023). https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2320-20

7. Про відходи: Закон України від 05.03.1998 № 187/98-ВР (втратив чинність з 09.07.2023). https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/187/98-%D0%B2%D1%80

8. Про управління відходами видобувної промисловості: проект Закону України, реєстр. № 12180 від 05.11.2024, поданий Кабінетом Міністрів України. Картка законопроєкту. https://itd.rada.gov.ua/billInfo/Bills/Card/45359

9. Уряд схвалив законопроект «Про управління відходами видобувної промисловості»: повідомлення Кабінету Міністрів України; висновок Комітету Верховної Ради України з питань екологічної політики та природокористування від 05.12.2024 про прийняття законопроєкту № 12180 за основу. https://www.kmu.gov.ua/news/uriad-skhvalyv-zakonoproekt-pro-upravlinnia-vidkhodamy-vydobuvnoi-promyslovosti

10.Депутати відхилили законопроект №12180 про відходи гірничодобувної промисловості https://ecopolitic.com.ua/en/news/mps-vote-down-draft-law-12180-on-mining-waste/

11.НАЕІУ закликала до відновлення розгляду закону про відходи у видобувній промисловості https://gmk.center/en/news/naeiu-has-called-for-the-resumption-of-consideration-of-the-law-on-waste-in-the-extractive-industry/

12.Про затвердження Класифікації запасів і ресурсів корисних копалин державного фонду надр: Постанова Кабінету Міністрів України від 05.05.1997 № 432 (з наступними змінами). https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/432-97-п

13.Про затвердження Правил виконання маркшейдерських робіт під час розробки родовищ рудних та нерудних корисних копалин: Наказ Міністерства розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України від 31.03.2021 № 669. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0884-21

14.Єдині правила охорони надр при розробці родовищ твердих корисних копалин (НПАОН 00.0-1.01-85): Постанова Держгіртехнагляду СРСР від 14.05.1985 № 22 https://www.geo.gov.ua/geokontrol/zakonodavchi-vymogy/

15.Директива Європейського парламенту і Ради 2006/21/ЄС від 15 березня 2006 року https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_016-06#Text

16.Regulation (EU) 2024/1252 of the European Parliament and of the Council of 11 April 2024 establishing a framework for ensuring a secure and sustainable supply of critical raw materials. Official Journal of the European Union, OJ L, 2024/1252, 03.05.2024. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1252/oj/eng

17.Ragonnaud G. Critical raw materials act. EU Legislation in Progress, European Parliamentary Research Service, 5th ed., 11.06.2024. https://epthinktank.eu/2023/05/19/critical-raw-materials-act-eu-legislation-in-progress/

18.Угода між Урядом України та Урядом Сполучених Штатів Америки про створення Американсько-українського інвестиційного фонду відбудови, підписана 30.04.2025, ратифікована Законом України від 08.05.2025. https://www.kmu.gov.ua/news/uhoda-mizh-uriadom-ukrainy-ta-uriadom-spoluchenykh-shtativ-ameryky-pro-stvorennia-amerykansko-ukrainskoho-investytsiinoho-fondu-vidbudovy-tekst-uhody

References

Agreement between the Government of Ukraine and the Government of the United States of America on the establishment of the US-Ukraine Reconstruction Investment Fund. (2025, April 30). Ratified by the Law of Ukraine of 8 May 2025. [in Ukrainian] https://www.kmu.gov.ua/news/uhoda-mizh-uriadom-ukrainy-ta-uriadom-spoluchenykh-shtativ-ameryky-pro-stvorennia-amerykansko-ukrainskoho-investytsiinoho-fondu-vidbudovy-tekst-uhody

Cabinet of Ministers of Ukraine. (1997, May 5). *On the approval of the classification of mineral reserves and resources of the state subsoil fund* (Resolution No. 432, as amended). [in Ukrainian] https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/432-97-п

Cabinet of Ministers of Ukraine. (2024a, December 5). *The Government has approved the draft law "On the management of waste from the extractive industries"* [Press statement].

Government Portal. [in Ukrainian] https://www.kmu.gov.ua/news/uriad-skhvalyv-zakonoproekt-pro-upravlinnia-vidkhodamy-vydobuvnoi-promyslovosti

Cabinet of Ministers of Ukraine. (2024b, November 5). *On the management of waste from the extractive industries* (Draft Law No. 12180). Verkhovna Rada of Ukraine. [in Ukrainian] https://itd.rada.gov.ua/billInfo/Bills/Card/45359

Cabinet of Ministers of Ukraine. (2025, July 14). *On the approval of lists of mineral resources and components of strategic and critical significance, and lists of subsoil areas (mineral deposits) of strategic and/or critical significance* (Resolution No. 845). [in Ukrainian] https://www.kmu.gov.ua/news/uriad-zatverdyv-pereliky-krytychnykh-i-stratehichnykh-mineraliv-i-obiektiv-nadrokorystuvannia-dlia-nadannia-v-korystuvannia-na-umovakh-konkursiv-urp-ta-auktsioniv

Directive 2006/21/EU of the European Parliament and of the Council of 15 March 2006. (2006). [in Ukrainian translation] https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_016-06#Text

EcoPolitic. (n.d.). *MPs rejected Bill No. 12180 on waste from the mining industry*. [in English] https://ecopolitic.com.ua/en/news/mps-vote-down-draft-law-12180-on-mining-waste/

Ministry of Economic Development, Trade and Agriculture of Ukraine. (2021, March 31). *On the approval of rules for the performance of surveying works during the development of ore and non-ore mineral deposits* (Order No. 669). [in Ukrainian] https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0884-21

Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine. (2021). *Draft Subsoil Code of Ukraine* (Scheduled to come into force on 1 January 2022; not adopted). [in Ukrainian] https://mepr.gov.ua/povidomlennya-pro-oprylyudennya-proyektu-kodeksu-ukrayiny-pro-nadra

Ragonnaud, G. (2024, June 11). *Critical raw materials act* (5th ed.). EU Legislation in Progress, European Parliamentary Research Service. [in English] https://epthinktank.eu/2023/05/19/critical-raw-materials-act-eu-legislation-in-progress/

Regulation (EU) 2024/1252 of the European Parliament and of the Council of 11 April 2024 establishing a framework for ensuring a secure and sustainable supply of critical raw materials. (2024). *Official Journal of the European Union*, *L 2024/1252*. [in English] https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1252/oj/eng

State Mining Supervision Authority of the USSR. (1985, May 14). *Uniform rules for the subsoil protection during the development of solid mineral deposits (NPAON 00.0-1.01-85)* (Resolution No. 22). [in Ukrainian] https://www.geo.gov.ua/geokontrol/zakonodavchi-vymogy/

Verkhovna Rada of Ukraine. (1994, July 27). *The Subsoil Code of Ukraine* (Law No. 132/94-VR, as amended). *Bulletin of the Verkhovna Rada of Ukraine*, 1994(36), Art. 340. [in Ukrainian] https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/132/94-вр

Verkhovna Rada of Ukraine. (1998, March 5). *On waste* (Law No. 187/98-VR, ceased to have effect on 9 July 2023). [in Ukrainian] https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/187/98-%D0%B2%D1%80

Verkhovna Rada of Ukraine. (2022a, December 1). *On amendments to certain legislative acts of Ukraine on the improvement of legislation in the field of subsoil use* (Law No. 2805-IX). [in Ukrainian] https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2805-20

Verkhovna Rada of Ukraine. (2022b, June 20). *On waste management* (Law No. 2320-IX, in force since 9 July 2023). [in Ukrainian] https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2320-20

Verkhovna Rada of Ukraine. (2024, December 18). *On amendments to certain legislative acts of Ukraine on updating the national programme for the development of the mineral raw material base of Ukraine for the period up to 2030 and the regulation of certain issues regarding minerals and components of strategic and critical significance* (Law No. 4154-IX). *Bulletin of the Verkhovna Rada of Ukraine*, 2025(26–27), Art. 82. [in Ukrainian] https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4154-20

УДК 351.82

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА АДМІНІСТРАТИВНО-ПРАВОВОЇ ВЗАЄМОДІЇ ДЕРЖАВНОЇ СЛУЖБИ ГЕОЛОГІЇ ТА НАДР УКРАЇНИ З ГРОМАДСЬКОЮ РАДОЮ

Середа Р.М., *аспірант, rseredarm@gmail.com, https://orcid.org/0009-0006-4818-4111,*
Науково-дослідний інститут публічного права, м. Київ, Україна

Проаналізовано особливості адміністративно-правової взаємодії Державної служби геології та надр України з Громадською радою, яка діє при ній. Проаналізовано нормативно-правові засади утворення та функціонування Громадської ради, визначено її місце у механізмі взаємодії Державної служби геології та надр України з інститутами громадянського суспільства. Розкрито основні завдання Громадської ради, її форми та напрями взаємодії. З'ясовано особливості консультативної, інформаційної, експертно-аналітичної, організаційної та громадсько-моніторингової складових такої взаємодії.

Встановлено проблемні аспекти нормативного та організаційного забезпечення взаємодії та запропоновано напрями її вдосконалення. Сформульовано авторське визначення адміністративно-правової взаємодії Державної служби геології та надр України з Громадською радою.

Ключові слова: адміністративно-правова взаємодія, Державна служба геології та надр України, Громадська рада, надрокористування, державне управління, публічне адміністрування.

GENERAL CHARACTERISTICS OF ADMINISTRATIVE-LEGAL INTERACTION OF THE STATE SERVICE OF GEOLOGY AND SUBSOIL OF UKRAINE WITH THE PUBLIC COUNCIL

Sereda R., *postgraduate student, rseredarm@gmail.com, https://orcid.org/0009-0006-4818-4111,*
The Scientific Institute of Public Law, Kyiv, Ukraine

This paper analyzes the characteristics of the administrative and legal interaction between the State Service of Geology and Subsoil of Ukraine and the Public Council operating under it. It examines the legal framework for the establishment and operation of the Public Council and identifies its role in the mechanism of interaction between the State Service of Geology and Subsoil of Ukraine and civil society institutions. The main tasks of the Public Council, as well as the forms and areas of its interaction, are outlined. The specific features of the consultative, informational, expert-analytical, organizational, and public-monitoring components of such interaction are identified.

Problematic aspects of the regulatory and organizational framework for this interaction are identified, and directions for its improvement are proposed. The author's definition of the administrative and legal interaction between the State Service of Geology and Subsurface Resources of Ukraine and the Public Council is formulated.

Keywords: administrative and legal interaction, State Service of Geology and Subsurface Resources of Ukraine, Public Council, subsurface resource use, state management, public administration.

Вступ. Сучасний розвиток публічного адміністрування характеризується зміною моделі одностороннього владного управління у напрямі формування відкритої системи взаємодії держави, громадян та інститутів громадянського суспільства. Саме участь громадськості у формуванні й реалізації державної політики виступає проявом демократичності державного управління та є засобом підвищення обґрунтованості, відкритості та суспільної легітимності управлінських рішень. Основою такої участі є положення статті 38 Конституції України, відповідно до якого громадяни мають право брати участь в управлінні державними справами [1]. Реалізація зазначеного права відбувається в різних організаційно-правових формах. Однією з яких форм є участь представників громадянського суспільства в діяльності громадських рад при органах виконавчої влади.

Виклад основного матеріалу. Державна служба геології та надр України (далі – Держгеонадра) є центральним органом виконавчої влади, діяльність якого спрямовується і координується Кабінетом Міністрів України через Міністра економіки, довкілля та сільського господарства та який реалізує державну політику у сфері геологічного вивчення і раціонального використання надр. До її компетенції віднесено, зокрема, надання спеціальних дозволів на користування надрами, ведення відповідних державних реєстрів, створення та забезпечення функціонування єдиної державної електронної

геоінформаційної системи користування надрами, здійснення державного геологічного контролю та інші повноваження, які закріплені нормами Постанови Кабінету Міністрів України від 30 грудня 2015 року № 1174, якою затверджено Положення про Державну службу геології та надр України [2].

Специфіка зазначених повноважень об'єктивно зумовлює необхідність взаємодії Державної служби геології та надр України з широким колом суб'єктів. Пунктом 8 Положення про Державну службу геології та надр України, передбачено, що Держгеонадра у процесі виконання покладених на неї завдань взаємодіє в установленому порядку з об'єднаннями громадян, громадськими спілками, професійними спілками, організаціями роботодавців, органами місцевого самоврядування, підприємствами, установами та організаціями [2]. Таким чином, взаємодія з громадськістю має нормативно закріплений характер та є складовою реалізації адміністративно-правового статусу Державної служби геології та надр України.

Одним із суб'єктів такої взаємодії є Громадська рада при Державній службі геології та надр України. Правові засади її діяльності визначаються постановою Кабінету Міністрів України від 3 листопада 2010 року № 996 «Про забезпечення участі громадськості у формуванні та реалізації державної політики», якою затверджено Порядок проведення консультацій з громадськістю та Типове положення про громадську раду при міністерстві, іншому центральному органі виконавчої влади та інших відповідних органах [3] та Положенням про Громадську раду при Державній службі геології та надр України, затвердженим наказом Держгеонадр від 21.11.2019 р. № 427 [4] Аналіз норм Положення свідчить про своєрідну комунікативно-посередницьку функцію між Державною службою геології та надр України та громадянським суспільством. Варто зазначити, що подальший розвиток нормативно-правових засад адміністративно-правової взаємодії Державної служби геології та надр України з Громадською радою також пов'язаний із прийняттям Закону України «Про публічні консультації» від 20 червня 2024 року № 3841-IX [5]. Після набрання чинності положення цього Закону становитимуть важливу нормативну основу залучення громадськості до процесів формування та реалізації державної політики, у тому числі у сфері геологічного вивчення та раціонального використання надр.

Особливістю правового регулювання діяльності громадських рад у сучасних умовах є визначення режиму їх функціонування на період воєнного стану. Постановою Кабінету Міністрів України від 16 серпня 2022 року № 909 визначено, що формування нового складу громадських рад у період воєнного стану та протягом шести місяців після його припинення чи скасування не здійснюється, а строк повноважень чинних громадських рад продовжується на період воєнного стану до затвердження органом виконавчої влади нового складу [6].

Громадська рада при Державній службі геології та надр України (далі - Громадська рада) є тимчасовим консультативно-дорадчим органом, утвореним для сприяння участі громадськості у реалізації державної політики у сфері геологічного вивчення та раціонального використання надр.

Основними завданнями Громадської ради є: сприяння реалізації громадянами конституційного права на участь в управлінні державними справами; сприяння врахуванню громадської думки Держгеонадрами під час реалізації державної політики; сприяння залученню представників заінтересованих сторін до проведення консультацій з громадськістю та моніторингу результатів реалізації державної політики; проведення відповідно до законодавства громадського моніторингу за діяльністю Держгеонадр; здійснення підготовки експертних пропозицій, висновків, аналітичних матеріалів з питань формування та реалізації державної політики. Аналіз змісту зазначених завдань свідчить, що Громадська рада виконує своєрідну комунікативно-посередницьку функцію між Державною службою геології та надр України та громадянським суспільством.

З огляду на це, можемо сформулювати визначення адміністративно-правової взаємодії Державної служби геології та надр України з Громадською радою, під яким

пропонуємо розуміти нормативно впорядковану, організаційно узгоджену діяльність Державної служби геології та надр України та Громадської ради, що здійснюється в межах визначеної законодавством компетенції, характеризується інформаційними, консультативними, експертно-аналітичними, організаційними та громадсько-моніторинговими зв'язками й спрямована на забезпечення участі громадськості у формуванні та реалізації державної політики у сфері геологічного вивчення та раціонального використання надр.

Напрямками (формами) такої взаємодії є:

– консультативна діяльність, зміст якої полягає у залученні представників Громадської ради до обговорення проєктів нормативно-правових актів, стратегічних і програмних документів, пропозицій щодо удосконалення регуляторного середовища та інших питань, що стосуються державної політики у сфері надрокористування;

– експертно-аналітична діяльність, яка відображає наявність у складі Громадської ради представників громадських організацій, професійного середовища та профільних асоціацій, що в свою чергу створює можливість залучення спеціальних знань до процесу підготовки та обговорення управлінських рішень (підготовка експертних пропозицій, висновків та аналітичних матеріалів);

– інформаційна діяльність, яка полягає в системному інформаційному обміні Держгеонадр з Громадською радою,

– організаційна діяльність реалізується шляхом проведення засідань, робочих зустрічей, спільних обговорень, створення робочих органів, підготовки планів роботи, обміну документами й матеріалами;

– безпосередня участь у формуванні та реалізації управлінських рішень, яка відображає залучення останньої до управлінського процесу як на початкових етапах підготовки відповідних рішень, так і на стадії їх остаточного формування та прийняття;

– громадський моніторинг, який полягає у спостереженні за діяльністю Держгеонадр, аналізі відкритої інформації, оцінюванні практики реалізації державної політики, підготовці пропозицій та доведенні позиції громадськості до суб'єкта владних повноважень.

Показовим прикладом поєднання цих форм взаємодії стало перше засідання Громадської ради відповідного складу 18 січня 2022 року. Представникам ради було запропоновано взяти участь у тестуванні електронного кабінету надрокористувача та надати зауваження і пропозиції для їх подальшого врахування під час функціонування системи [7]. Такий формат демонструє поступове розширення предмета взаємодії: поряд із традиційним обговоренням нормативних актів громадськість залучається до оцінювання цифрових механізмів реалізації адміністративних процедур.

Важливою рисою взаємодії Державної служби геології та надр України з Громадською радою є її двосторонній характер. Така взаємодія передбачає наявність зворотного зв'язку, який полягає в отриманні пропозиції, її розгляд компетентними структурними підрозділами Держгеонадр, оцінювання можливості врахування, прийняття відповідного рішення та інформування Громадської ради про результати його розгляду. Саме такий управлінський цикл дає можливість відмежовувати реальну адміністративно-правову взаємодію від формального консультування.

Разом із тим наведене дозволяє виокремити окремі проблемні аспекти адміністративно-правового забезпечення взаємодії Держгеонадр із Громадською радою.

По-перше, потребує вдосконалення механізм документування результатів взаємодії. Доцільно нормативно закріпити обов'язок систематизації пропозицій Громадської ради із зазначенням дати їх надходження, предмета, відповідального структурного підрозділу Держгеонадр, результату розгляду та мотивів повного чи часткового неврахування. Це дозволить забезпечити завершеність механізму зворотного зв'язку та одночасно створити можливість оцінювання фактичного впливу консультативно-дорадчого органу на процес вироблення управлінських рішень.

По-друге, потребує належного нормативного врегулювання питання запобігання потенційному конфлікту приватних і публічних інтересів під час розгляду Громадською радою питань, які безпосередньо стосуються окремих суб'єктів господарювання або певних секторів надрокористування. З огляду на представницький характер Громадської ради та можливість входження до її складу представників інститутів громадянського суспільства, діяльність яких може бути пов'язана з відповідними сферами надрокористування, доцільним є встановлення чітких процедур запобігання такому конфлікту, зокрема обов'язку повідомлення про наявність приватного інтересу, утримання від участі в обговоренні та голосуванні з відповідного питання, а також належного документування таких випадків.

По-третє, потребує удосконалення інформаційна (цифрова) складова взаємодії в контексті створення постійного електронного механізму взаємодії, який забезпечуватиме завчасне надання членам Громадської ради матеріалів до засідань, подання структурованих пропозицій, відстеження стану їх розгляду та оприлюднення результатів у межах, допустимих законодавством і вимогами безпеки.

По-четверте, потребує чіткого нормативного визначення критеріїв результативності взаємодії Держгеонадр із Громадською радою. На нашу думку такими показниками можуть бути кількість підготовлених експертних висновків, частка розглянутих пропозицій, кількість пропозицій, повністю або частково врахованих у проєктах управлінських рішень, дотримання строків зворотного інформування, участь представників Громадської ради у робочих та експертних групах.

Висновки. Адміністративно-правова взаємодія Державної служби геології та надр України з Громадською радою являє собою самостійний напрям зовнішньої діяльності Держгеонадр, у межах якого забезпечується зв'язок публічної адміністрації з інститутами громадянського суспільства та заінтересованими сторонами у сфері надрокористування. Її зміст утворює сукупність консультативних, інформаційних, експертно-аналітичних, організаційних та громадсько-моніторингових форм спільної діяльності. Пріоритетним напрямом удосконалення взаємодії має стати подальша процедурна формалізація: встановлення зрозумілого алгоритму подання та розгляду пропозицій Громадської ради, запровадження обов'язкового мотивованого зворотного зв'язку, удосконалення інформаційної (цифрової) взаємодії, забезпечення прозорості розгляду суспільно значущих питань, визначення правил врегулювання потенційного конфлікту інтересів та поступове приведення процедур діяльності Держгеонадр у відповідність до положень Закону України «Про публічні консультації» після набрання ним чинності.

Список використаних джерел:

1. Конституція України від 28 червня 1996 року № 254к/96-ВР.
2. Про затвердження Положення про Державну службу геології та надр України: Постанова Кабінету Міністрів України від 30.12.2015 р. № 1174. Офіційний вісник України. 2016. № 3. С. 284.
3. Про забезпечення участі громадськості у формуванні та реалізації державної політики: постанова Кабінету Міністрів України від 3 листопада 2010 року № 996.
4. Положення про Громадську раду при Державній службі геології та надр України. Державна служба геології та надр України: веб-сайт. URL: https://www.geo.gov.ua/gromadska-rada/
5. Про публічні консультації: Закон України від 20 червня 2024 року № 3841-IX.
6. Про внесення зміни до постанови Кабінету Міністрів України від 3 листопада 2010 року № 996: постанова Кабінету Міністрів України від 16 серпня 2022 року № 909.
7. Державна служба геології та надр України: веб-сайт. URL: https://www.geo.gov.ua

УДК 553.04

НОВА ЕРА НАДРОКОРИСТУВАННЯ В УКРАЇНІ: ГАРМОНІЗАЦІЯ ЗАПАСІВ І РЕСУРСІВ КОРИСНИХ КОПАЛИН ЗІ СТАНДАРТАМИ РКООН-2019

Петренко А.С., *apetrenko68@gmail.com,*
Асоціація газовидобувних компаній України, м. Київ, Україна

Сучасна система обліку та оцінки запасів корисних копалин є важливою складовою ефективного управління надрами, залучення інвестицій та розвитку мінерально-сировинної бази України. У статті проаналізовано наслідки прийняття Урядом постанови № 1197 від 25 вересня 2025 року, якою затверджено оновлену редакцію Класифікації запасів і ресурсів корисних копалин державного фонду надр відповідно до принципів міжнародної системи РКООН-2019. Окрему увагу приділено низці регуляторних прогалин, зокрема застарілості чинної Інструкції із застосування Класифікації для нафтогазової галузі (наказ ДКЗ № 46 від 10.07.1998), яка не оновлювалася впродовж майже трьох десятиліть. Детально обґрунтовано проблеми приведення балансових запасів до нових кодів через дефіцит бюджетного фінансування та наявні секторальні обмеження. Запропоновано практичні кроки й законодавчі механізми, які дозволять залучити кошти інвесторів під контролем державної експертизи ДКЗ задля успішного виконання завдань загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази України.

A NEW ERA OF SUBSOIL USE IN UKRAINE: HARMONIZATION OF MINERAL RESERVES AND RESOURCES WITH THE UNFC-2019 STANDARDS

Petrenko A., *apetrenko68@gmail.com,*
Association of Gas Producers of Ukraine, Kyiv, Ukraine

The modern system for accounting for and evaluating mineral reserves is a key component of effective subsoil management, attracting investment, and developing mineral resource base of Ukraine. This article examines the consequences of the adoption of the Government Resolution No. 1197 dated September 25, 2025, which updated the Classification of Mineral Reserves and Resources of the State Subsoil Fund in accordance with UNFC-2019 standards. Particular attention is paid to a number of regulatory gaps, specifically the obsolescence of the current Instruction on the Application of the Classification for oil and gas Industry (Order of the State Commission of Ukraine on Mineral Resources No. 46 dated July 10, 1998), which has remained unchanged for nearly three decades. The issues of aligning State Balance reserves and resources with the new codes due to a lack of budgetary funding and sectoral restrictions are thoroughly substantiated. Practical steps and legislative mechanisms are proposed to enable the attraction of investor funds under the oversight of the State Commission of Ukraine on Mineral Resources to ensure the successful implementation of the Nationwide Mineral Resource Base Development Programme of Ukraine.

У сучасних реаліях енергетична безпека залежить не лише від наявності природного газу й нафти у надрах, а й від достовірності даних про запаси і ресурси, їхні обсяги та характеристики. У світі, де доступ до природних ресурсів дедалі більше й частіше визначає економічну стійкість та конкурентоспроможність держав, якість геологічної інформації та точність оцінки запасів стають стратегічним активом.

Для України це питання є особливо гострим і актуальним. Повномасштабна війна, руйнування енергетичної інфраструктури, недофінансування геолого-розвідувальних робіт та тривале накопичення невирішених регуляторних проблем створюють ризики не лише для розвитку нафтогазовидобувної індустрії, а й для подальшої ресурсної спроможності держави. Темпи відтворення сировинної бази вже зараз відстають від реальних потреб країни, що потенційно призводитиме до падіння обсягів видобутку та зростання імпорту енергоносіїв у майбутньому. Водночас Україна стикається з проблемою, коли наявна геологічна інформація про родовища є застарілою, а первинні дані частково втрачаються. Відтак, держава ризикує втратити доказову базу наявності покладів, а інвестори – інтерес до проєктів. Критичною проблемою залишається відсутність геолого-економічної оцінки левової частки українських родовищ за загальновизнаними міжнародними стандартами, зокрема РКООН-2019, CRIRSCO та PRMS. Без цього отримати належні результати оцінки обсягів відповідних корисних копалин є неможливим.

Досвід провідних видобувних країн наглядно показує, що державна система обліку запасів може ефективно поєднуватися з міжнародними стандартами та підходами. При цьому, кожна країна вже на власний розсуд формує власну модель, зберігаючи баланс між регуляторним контролем та інвестиційною прозорістю. Наприклад, у Норвегії національна система обліку тісно пов'язана з власними класифікаційними інструментами (NPD-2016) під контролем Norwegian Offshore Directorate. Саме цей орган отримує дані від операторів, перевіряє їхню якість і формує власні оцінки. У Канаді для розкриття інформації щодо нафти й газу застосовується спеціалізований регуляторний стандарт NI 51-101. Тут одну з ключових ролей для здійснення експертизи відіграють незалежні кваліфіковані оцінювачі або аудитори (Qualified Reserves Evaluator or Auditor). У Румунії національна система державного обліку мінеральних запасів базується на власних нормах, водночас активно використовуються підходи РКООН. Для України такий досвід має особливе значення. Адже поєднання сильної державної експертизи із сучасними міжнародними стандартами РКООН є критично важливим для забезпечення прозорості ринку, адаптації до європейських підходів та підвищення довіри інвесторів.

Якісна та обґрунтована оцінка запасів та ресурсів сьогодні є однією з ключових передумов для залучення інвестицій в нафтогазову галузь. В реаліях сьогодення інвестор має розуміти не лише потенціал родовища, а й те, наскільки надійними є дані, на яких ґрунтується його оцінка.

Якщо поглянути на історичний контекст, то тривалий час облік запасів в Україні здійснювався за застарілими стандартами, які вже давно віджили своє й критично потребували адаптації до ринкової економіки. В цьому напрямі важливою є робота Державної комісії України по запасах корисних копалин, яка активно здійснюється й сьогодні. Так, у 2018 році Україна частково змінила підходи до інтеграції національної класифікації згідно з міжнародними стандартами РКООН, зробивши геологічну інформацію більш зрозумілою для потенційних інвесторів. Наступним етапом стало прийняття у 2025 році постанови Кабінету Міністрів України № 1197, якою оновлено Класифікацію запасів і ресурсів корисних копалин та приведено її у відповідність до міжнародного стандарту РКООН-2019.

Однак саме прийняття нових правил не означає автоматичного переходу на нову систему. Для повноцінного практичного застосування необхідним є оновлення профільної Інструкції, над якою сьогодні працюють фахівці. Без цього оновлена Класифікація ризикує залишитися нормативною конструкцією, яку складно повною мірою застосувати на практиці.

Потребу в оновленні ресурсної бази прямо визначає і Загальнодержавна програма розвитку мінерально-сировинної бази (МСБ) на період до 2030 року. У документі чітко зазначено, що наявна інформація про родовища втрачає актуальність і унеможливлює залучення інвестицій, оскільки переважна більшість об'єктів не оцінюється за міжнародними стандартами, зокрема РКООН 2019. Саме тому третій етап Програми на 2025–2030 роки передбачає проведення повної ревізії нафтогазового балансу запасів, а також виконання прогнозно-пошукових робіт з переоцінки, підготовки та промоції інвестиційно привабливих об’єктів для їх подальшого надання у користування. Програма МСБ водночас підкреслює, що значне збільшення видобутку природного газу й нафти у перспективі неможливе без нарощування ресурсної бази та покращення її якості за рахунок як державного бюджету, так і приватного капіталу – коштів суб’єктів господарювання чи інших не заборонених законом джерел.

На практиці між поставленими завданнями та можливостями реалізації залишається суттєвий розрив. Один із ключових бар’єрів – бюджетний дефіцит. Попри заплановані Програмою 1,55 млрд грн на 2025–2030 роки на розвиток мінерально-сировинної бази, зокрема, у проєкті Держбюджету на 2027 рік закладено 200 млн грн, які, як вбачається, будуть спрямовані на проєкти, пов’язані з критичними та стратегічними корисними копалинами, державне фінансування залишається обмеженим, а залучення коштів

приватних інвесторів не підкріплене правовими механізмами. Другий бар'єр вже має суто секторальні обмеження. Для нафтогазового сектору можливість проведення таких робіт узагалі прямо заблокована чинними нормами Кодексу України про надра. Водночас саме залучення коштів інвесторів могло б істотно прискорити оновлення ресурсної бази. Для чинних надрокористувачів оцінка запасів і ресурсів за міжнародними стандартами дасть можливість точніше визначати вартість власних активів та планувати розробку родовищ. Для держави це означатиме підвищення якості інформації про об'єкти державного фонду надр, які ще не розробляються. Це особливо важливо для нафтогазових електронних аукціонів. Адже виставлений лот, попередньо оцінений за новими нормами, виглядатиме в рази привабливіше в очах надрокористувачів, ніж об'єкт, характеристики якого базуються на застарілих чи неповних даних. Відповідно, якісна підготовка ресурсної бази може стати одним із факторів підвищення інвестиційної привабливості е-аукціонів, збільшення учасників та зростання надходжень до державного бюджету.

Тому наступним кроком має стати створення дієвого механізму для повної імплементації міжнародних стандартів оцінки. Держава, профільні інституції, зокрема ДКЗ та надрокористувачі повинні спільно подолати наявні законодавчі бар'єри, аби закласти надійне підґрунтя для залучення інвестицій, нарощення видобутку вуглеводнів та зміцнення енергетичної безпеки нашої країни.

УДК 551.435.627:528.8(477.87)

ОНОВЛЕННЯ ІНВЕНТАРИЗАЦІЇ ЗСУВІВ ТА ІНШИХ НЕБЕЗПЕЧНИХ ЕКЗОГЕННИХ ГЕОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ЯК ОСНОВА КАРТУВАННЯ СПРИЙНЯТЛИВОСТІ ТЕРИТОРІЇ

***Петрушенко Е.С.**, аспірант, ORCID ID 0009-0001-6699-2722, eduard.petrushenko@knu.ua;*
***Гадяцька К.П.**, к. геол. н, асистент, ORCID ID 0000-0003-1334-506X, k.hadiatska@knu.ua;*
Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
ННІ «Інститут геології», Київ, Україна

Розглянуто роль інвентаризації зсувів та інших небезпечних екзогенних геологічних процесів (НЕГП) як інформаційної основи регіонального прогнозування геологічних небезпек в Українських Карпатах. Для Закарпатської області створено ГІС-проєкт, у якому на основі даних Держгеокадастру сформовано набір даних інвентаризації зсувів (697 точкових і 172 полігональні об'єкти) та оцифровано геологічні й тектонічну карти масштабу 1:200 000. За цифровою моделлю рельєфу SRTM, знімками Sentinel-2, кліматичними даними та оцифрованими картами підготовлено 12 тематичних шарів чинників зсувоутворення. Вагові коефіцієнти чинників визначено статистично за розподілом відомих зсувів між класами кожного чинника, а карту сприйнятливості побудовано методом зваженого оверлейного аналізу з поділом на п'ять класів. Найбільша кількість зсувів інвентаризації припадає на зони високої та дуже високої сприйнятливості. Показано, що використаний набір даних інвентаризації відображає стан на 1998–2006 рр., а новіші відомості інформаційних щорічників моніторингу ЕГП до нього не інтегровано, що обмежує точність і верифікацію прогнозних моделей. Обґрунтовано потребу систематичного оновлення та відкритого доступу до інвентаризаційних даних НЕГП як складової прозорого надрокористування, оцінки ризиків для інфраструктури й інвестиційних проєктів та сталого розвитку гірських територій.

Ключові слова: інвентаризація зсувів, небезпечні екзогенні геологічні процеси, карта сприйнятливості, ГІС, Українські Карпати, надрокористування.

UPDATING THE INVENTORY OF LANDSLIDES AND OTHER HAZARDOUS EXOGENOUS GEOLOGICAL PROCESSES AS A BASIS FOR SUSCEPTIBILITY MAPPING

***Petrushenko E.**, postgraduate, ORCID ID 0009-0001-6699-2722, eduard.petrushenko@knu.ua;*
***Hadiatska K.**, Cand. Sci. (Geol.), assistant, ORCID ID 0000-0003-1334-506X, k.hadiatska@knu.ua;*
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Institute of Geology, Kyiv, Ukraine

The role of the inventory of landslides and other hazardous exogenous geological processes (HEGP) as the information basis for regional geohazard forecasting in the Ukrainian Carpathians is considered. For the Zakarpattia region, a GIS project was created in which a landslide inventory dataset (697 point and 172 polygon features) was compiled from the State Geocadastre data, and geological and tectonic maps at 1:200 000 scale were digitised. Twelve thematic layers of landslide conditioning factors were derived from the SRTM digital elevation model, Sentinel-2 imagery, climate data and the digitised maps. Factor weights were estimated statistically from the distribution of known landslides across the classes of each factor, and the susceptibility map was produced by weighted overlay analysis with five classes. The largest number of inventoried landslides falls within the high and very high susceptibility zones. The inventory dataset used reflects the situation of 1998–2006, while more recent information from the annual monitoring yearbooks has not been integrated into it, which limits the accuracy and validation of predictive models. The need for systematic updating of HEGP inventory data and open access to them is substantiated as a component of transparent subsoil use, risk assessment for infrastructure and investment projects, and sustainable development of mountain areas.

Keywords: landslide inventory, hazardous exogenous geological processes, susceptibility map, GIS, Ukrainian Carpathians, subsoil use.

Вступ. Українські Карпати належать до регіонів з найвищою ураженістю небезпечними екзогенними геологічними процесами (НЕГП): зсувами, селями, ерозією та карстом у межах України (Державна служба геології та надр України, 2021; Шехунова та ін., 2022). Щорічна активізація водно-гравітаційних процесів завдає шкоди автомобільним і залізничним дорогам, магістральним трубопроводам, гідротехнічним спорудам та населеним пунктам. За регіональними даними, ураженість річкових басейнів Закарпатської області зсувами становить 1–10 % їхньої площі, а в басейнах рр. Апшиця, Косівська,

Тересва та Шопурка сягає 11–12 %. Станом на 01.01.2021 р. в області зафіксовано 278 селенебезпечних водотоків загальною площею басейнів 1828 км² (Габор, 2021).

Для сфери надрокористування відомості про НЕГП є частиною базової геологічної інформації. Їх враховують під час вибору ділянок видобування, проєктування кар'єрів, трубопроводів і доріг, а також під час оцінки впливу на довкілля (ОВД) планованої діяльності (Закон України № 2059-VIII, 2017). Показовим прикладом зв'язку між видобуванням і НЕГП є карстові процеси в межах соляного діапіру смт Солотвино, де тривалий час видобували кам'яну сіль.

Водночас кадастрова інформація про зсуви та селі значною мірою застаріла через недофінансування державного моніторингу екзогенних геологічних процесів (ЕГП) та наслідки війни, а наукові дослідження часто мають фрагментарний характер. Мета роботи полягала в тому, щоб показати значення інвентаризації зсувів та інших НЕГП і її оновлення для регіонального прогнозування та визначити, які карти сприйнятливості території можна отримати на її основі (на прикладі Закарпатської області).

Характеристика території. Територія досліджень охоплює Закарпатську область у межах Внутрішніх і Зовнішніх Українських Карпат. Зовнішні Карпати є покривно-складчастою спорудою, складеною переважно крейдово-палеогеновими флішовими утвореннями (пісковики, аргіліти, алевроліти, мергелі); від Внутрішніх Карпат їх відокремлює Пенінський покрив (Гнилко, 2016). Навколорозломні зони постійно перебувають у напруженому стані, мають підвищену тріщинуватість і проникність, що знижує стійкість верхніх товщ *(Штогрин та ін., 2021)*. Тому найбільша кількість зсувів і селів приурочена до ділянок найвищої щільності розривних порушень у межах Кросненської, Поркулецької, Рахівської та Чорногірської зон.

Інвентаризація зсувів та інших НЕГП.

Для Закарпатської області створено базу даних і ГІС-проєкт. На основі даних Держгеокадастру сформовано набір даних інвентаризації зсувів із 697 точкових і 172 полігональних об'єктів (рис. 1). Додатково оцифровано карту поширення водно-гравітаційних процесів, карту інженерно-геологічного районування за регіональними умовами розвитку ЕГП (Інформаційний звіт…, 2006), геологічні карти ГДП-200 (8 аркушів) та тектонічну карту Українських Карпат масштабу 1:200 000 (Круглов та Глушко, 1986).

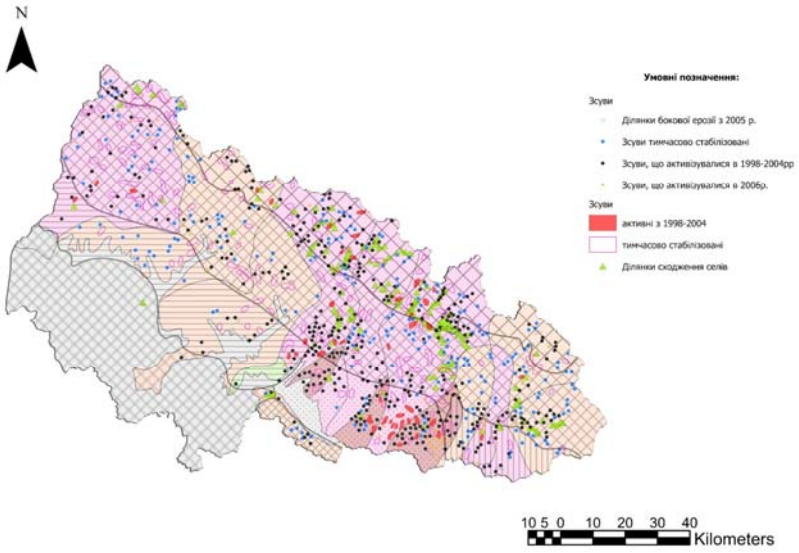


Рис. 1. Карта прояву НЕГП у межах Закарпатської області за даними інвентаризації

За механізмом зміщення зсуви поділяються на структурні, пластичні та структурно-пластичні. Найпоширенішими є структурні зсуви в анізотропних флішових товщах, особливо в Кросненській структурно-фаціальній зоні (Іванік, 2010), тоді як пластичні зсуви приурочені до перезволожених делювіальних відкладів. Селі поширені переважно в

середньогір'ї; їх активізацію часто спричиняють зсуви, які перегороджують долини бічних приток і формують тимчасові озера.

Значення оновлення інвентаризаційних даних. Легенда інвентаризаційної карти (рис. 1) свідчить, що найновіші відомості про активізацію зсувів датуються 2006 р. Відтоді в регіоні відбувалися нові активізації: після інтенсивних опадів 2020 р. в басейнах рр. Ріка і Тересва зафіксовано три сходження грязекам'яних селів, два з яких відбулися вперше (Габор, 2021), а в 2024 р. зсув зафіксовано в м. Рахів. Відомості про такі події містяться у звітах моніторингу ЕГП, проте до набору даних, використаного для моделювання, вони не ввійшли.

Застарілість даних має й методичні наслідки. Без вибірки зсувів, що сталися після побудови моделі, неможливо перевірити її прогнозну здатність у часі. Динамічні чинники (індекси рослинності та вологості, землекористування) розраховано за сучасними знімками Sentinel-2, тому їх зіставлення з історичними зсувами вносить у модель часову невідповідність. Оновлена інвентаризація має бути багаточасовою і для кожного об'єкта містити щонайменше контур, тип і механізм процесу, стан активності з датою останньої активізації, чинник-тригер, пошкоджені об'єкти та джерело даних. Це дозволяє відокремлювати активні зсуви від стабілізованих і коректно валідувати моделі.

Оновлення доцільно проводити, поєднуючи польові дослідження з даними дистанційного зондування Землі (ДЗЗ). Радарна інтерферометрія (InSAR) за знімками Sentinel-1 дає змогу виявляти активні зміщення схилів, а оптичні знімки та цифрові моделі рельєфу високої роздільності дозволяють картувати нові зсувні тіла. Вимоги до оприлюднення геопросторових даних визначає Закон України № 554-IX (2020), а реформа надрокористування спрямована на спрощення доступу до геологічної інформації (Закон України № 2805-IX, 2023). Відкритий набір даних інвентаризації НЕГП дає надрокористувачам, громадам та інвесторам змогу враховувати геологічні ризики вже на етапі планування.

Методика побудови карт сприйнятливості. Карту сприйнятливості побудовано методом зваженого оверлейного аналізу (Weighted Overlay) з урахуванням сучасних підходів до прогнозування зсувної небезпеки (Іванік та ін., 2023). Використано 12 тематичних карт чинників: геоморфологічних (експозиція, крутизна й кривизна схилів, перевищення рельєфу; ЦМР SRTM 30 м), гідрогеологічних (віддаленість від річок, індекс вологості MI), кліматичних і ландшафтних (опади; індекс рослинності NDVI та землекористування за Sentinel-2 L2A) та літолого-тектонічних (тектонічна будова, щільність розломів і віддаленість від них). Послідовність моделювання наведено на рис. 2. Для карт віддаленості побудовано буферні зони (Multiple Ring Buffer), після чого кожну карту зіставлено з інвентаризацією (Spatial Join), переведено в растр і рекласифіковано на 5 класів за кількістю зсувів у класі. Вагові коефіцієнти розраховано методом парної кореляції як частку зсувів, що припадають на 5-й клас кожного чинника (табл. 1).

Результати. Зіставлення тематичних карт з інвентаризацією показало, що більшість зсувів приурочена до схилів крутизною 5–22° західної, східної та південної експозиції, переважно увігнутої форми, до висот 282–825 м і до зони в межах 4 км від річкової мережі. Найбільше зсувів припадає на ділянки зі щільністю тектонічних порушень 1,04–1,86 км/км² та на відстань до 2 км від розломів. Кривизна схилів має низьку вагову частку (близько 0,2 %), тому до оверлейного аналізу її не включено.

Результатом моделювання є карта сприйнятливості, що поділяє територію області на п'ять класів від низької до дуже високої ймовірності розвитку зсувів (рис. 3). Найбільша кількість зсувів інвентаризації припадає на зони 4–5 класів (Петрушенко, 2024). Ця перевірка не є незалежною, оскільки ваги розраховано за тими самими зсувами, і це ще один аргумент на користь оновлення інвентаризації. До зон високої сприйнятливості належать правобережні схили рр. Тиса, Боржава, Латориця та їхня яружно-балкова мережа в межах до 4 км.

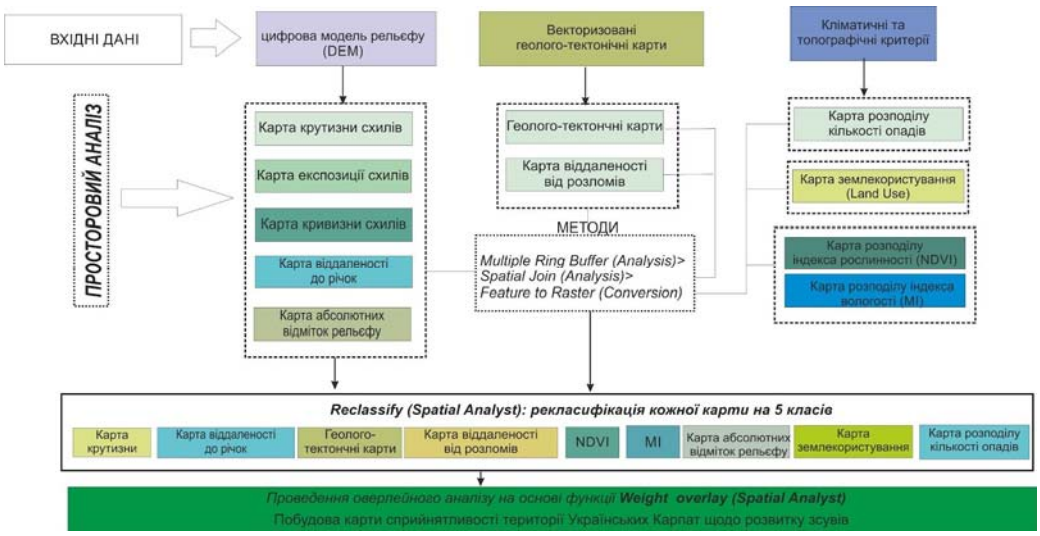


Рис. 2. Блок-схема просторового моделювання в середовищі ГІС на основі оверлейного аналізу

Таблиця 1

Вагові коефіцієнти чинників зсувоутворення (частка зсувів у 5-му класі)

Чинник	Характеристика 5-го класу	Зсувів у 5-му класі	Ваговий коефіцієнт
Індекс вологості MI	Приурочено до схилів крутизною до 22°	676	0,97
Землекористування	лісові насадження	549	0,79
Перевищення рельєфу	234 зсуви на 545–825 м; 229 — на 282–544 м	463	0,71
Кількість опадів	зона середньорічних значень опадів	446	0,66
Індекс рослинності NDVI	клас найнижчих значень NDVI	229	0,49
Віддаленість від розломів	до 500 м від розлому	263	0,48
Віддаленість від річок	359 зсувів на 2–4 км; 133 — до 500 м	231	0,45
Крутизна схилів	5–13°	274	0,39
Тектонічна будова	Кросненська зона, Поркулецький, Дуклянський, Чорногірський і Скибовий покриви	116	0,38

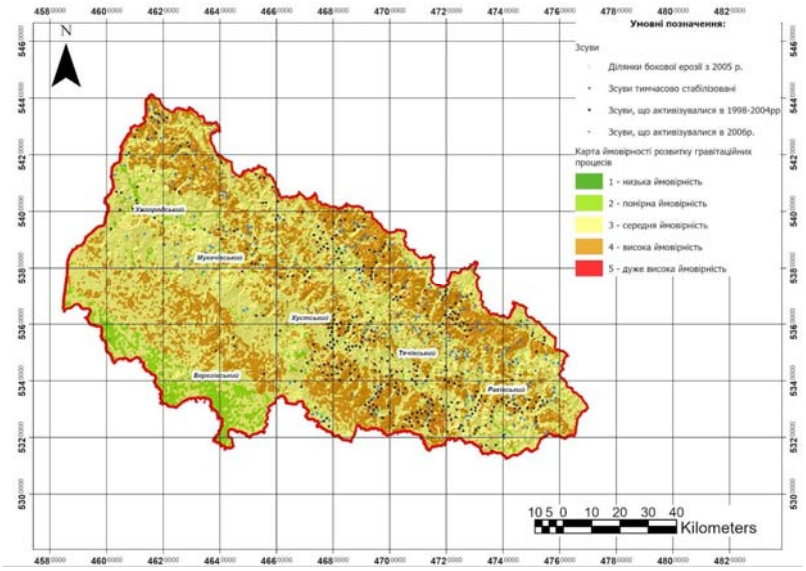


Рис. 3. Карта сприйнятливості території Закарпатської області до розвитку зсувів

Слід зважати, що карта сприйнятливості показує відносну схильність території до зсувів і не прогнозує час та розміри майбутніх зміщень, а прямі техногенні чинники (підрізання схилів, забудова) враховано лише опосередковано, через землекористування. Водночас саме в такому вигляді вона придатна для попереднього скринінгу ділянок надр, трас трубопроводів і доріг, а також як картографічна основа для оцінки геологічних ризиків під час ОВД планованої діяльності (Закон України № 2059-VIII, 2017).

Висновки. 1. Інвентаризація зсувів та інших НЕГП є ключовим вхідним набором даних для регіонального прогнозування. На її основі для Закарпатської області визначено провідні чинники зсувоутворення, розраховано їхні вагові коефіцієнти та побудовано карту сприйнятливості, на 4–5 класи якої припадає найбільша кількість відомих зсувів.

2. Наявна інвентаризація не відображає актуальної ситуації, що обмежує калібрування й незалежну перевірку моделей та створює часову невідповідність між зсувами і сучасними динамічними чинниками.

3. Систематичне оновлення інвентаризації в багаточасовому форматі із залученням даних ДЗЗ (зокрема InSAR) та її оприлюднення у відкритому доступі є умовою прозорого надрокористування та сталого розвитку гірських громад. Побудовані на оновлених даних карти сприйнятливості доцільно використовувати під час ОВД, планування територій громад і оцінки інвестиційних ризиків.

Список використаних джерел:

Габор, М. (2021). *Інформаційний звіт з моніторингу, обліку поширення і активізації екзогенних геологічних процесів Закарпатського геолого-гідрогеологічного центру Львівської ГРЕ за 2020 р.* Берегове.

Гнилко, О. М. (2016). *Геологічна будова та еволюція Українських Карпат* [Автореф. дис. д-ра геол. наук]. Львів.

Державна служба геології та надр України. (2021). *Інформаційний щорічник щодо активізації небезпечних екзогенних геологічних процесів на території України за даними моніторингу ЕГП*. ДНВП «Державний інформаційний геологічний фонд України».

Закон України № 2059-VIII. (2017). *Про оцінку впливу на довкілля*. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2059-19

Закон України № 2805-IX. (2023). *Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо удосконалення законодавства у сфері користування надрами* (Офіційний вісник України № 2 від 10.01.2023). https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2805-20

Закон України № 554-IX. (2020). *Про національну інфраструктуру геопросторових даних*. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/554-20

Іванік, О. М. (2010). *Моделювання впливу небезпечних геологічних процесів на функціонування транспортних природно-техногенних систем* [Автореф. дис. д-ра геол. наук]. Київський національний університет імені Тараса Шевченка.

Іванік, О., Шевчук, В., Кравченко, Д., & Гадяцька, К. (2023). Прогнозування зсувної небезпеки та оцінка впливу на суспільство: головні підходи, принципи, методи. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія, 1*(100), 6–14. https://doi.org/10.17721/1728-2713.100.01

Інформаційний звіт з моніторингу, обліку поширення і активізації екзогенних геологічних процесів гідрогеологічної партії Закарпатської геологорозвідувальної експедиції за 2005 р. (2006). (Кн. 1). ДП «Західукргеологія».

Круглов, С. С., & Глушко, В. В. (1986). *Тектонічна карта Українських Карпат. Масштаб 1:200 000* [Карта].

Петрушенко, Е. С. (2024). Оцінка сприйнятливості території Закарпатської області щодо розвитку зсувних процесів на основі ГІС аналізу. У *Сучасні проблеми наук про Землю: Матеріали XIV Всеукраїнської молодіжної наукової конференції-школи* (с. 10–11). Київ.

Шехунова, С. Б., Сюмар, Н. П., Лобасов, О. П., & Стадніченко, С. М. (2022). Аналіз просторових закономірностей поширення зсувів у межах Закарпатської області засобами ГІС. *Український географічний журнал*, (3), 11–20. https://doi.org/10.15407/ugz2022.03.011

Штогрин, Л., Анікеєв, С., Кузьменко, Е., & Багрій, С. (2021). Відображення активності зсувних процесів у регіональному гравітаційному та магнітному полях (на прикладі Закарпатської області). *Геодинаміка, 1*(30), 65–77. https://doi.org/10.23939/jgd2021.01.065

References:

Derzhavna sluzhba heolohii ta nadr Ukrainy. (2021). *Informatsiinyi shchorichnyk shchodo aktyvizatsii nebezpechnykh ekzohennykh heolohichnykh protsesiv na terytorii Ukrainy za danymy monitorynhu EHP* [Information yearbook on the activation of hazardous exogenous geological processes in Ukraine according to monitoring data]. DNVP «Derzhavnyi informatsiinyi heolohichnyi fond Ukrainy» [in Ukrainian].

Habor, M. (2021). *Informatsiinyi zvit z monitorynhu, obliku poshyrennia i aktyvizatsii ekzohennykh heolohichnykh protsesiv Zakarpatskoho heoloho-hidroheolohichnoho tsentru Lvivskoi HRE za 2020 r.* [Information report on monitoring, registration of distribution and activation of exogenous geological processes of the Zakarpattia Geological and Hydrogeological Centre of Lviv GRE for 2020]. Berehove [in Ukrainian].

Hnylko, O. M. (2016). *Heolohichna budova ta evoliutsiia Ukrainskykh Karpat* [Geological structure and evolution of the Ukrainian Carpathians] [Extended abstract of Doctor's thesis]. Lviv [in Ukrainian].

Informatsiinyi zvit z monitorynhu, obliku poshyrennia i aktyvizatsii ekzohennykh heolohichnykh protsesiv hidroheolohichnoi partii Zakarpatskoi heolohorozviduvalnoi ekspedytsii za 2005 r. [Information report on monitoring, registration of distribution and activation of exogenous geological processes of the hydrogeological party of the Zakarpattia Geological Exploration Expedition for 2005]. (2006). (Book 1). DP «Zakhidukrheolohiia» [in Ukrainian].

Ivanik, O. M. (2010). *Modeliuvannia vplyvu nebezpechnykh heolohichnykh protsesiv na funktsionuvannia transportnykh pryrodno-tekhnohennykh system* [Modelling the impact of hazardous geological processes on the functioning of transport natural-technogenic systems] [Extended abstract of Doctor's thesis]. Taras Shevchenko National University of Kyiv [in Ukrainian].

Ivanik, O., Shevchuk, V., Kravchenko, D., & Hadiatska, K. (2023). Prohnozuvannia zsuvnoi nebezpeky ta otsinka vplyvu na suspilstvo: holovni pidkhody, pryntsypy, metody [Landslide hazard forecasting and assessment of the impact on society: main approaches, principles, methods]. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology, 1*(100), 6–14. https://doi.org/10.17721/1728-2713.100.01 [in Ukrainian].

Kruhlov, S. S., & Hlushko, V. V. (1986). *Tektonichna karta Ukrainskykh Karpat. Masshtab 1:200 000* [Tectonic map of the Ukrainian Carpathians. Scale 1:200 000] [Map] [in Ukrainian].

Law of Ukraine № 2059-VIII. (2017). *On environmental impact assessment*. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2059-19 [in Ukrainian].

Law of Ukraine № 2805-IX. (2023). *On amendments to certain legislative acts of Ukraine on improving legislation in the sphere of subsoil use* (Official Gazette of Ukraine № 2 dated 10.01.2023). https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2805-20 [in Ukrainian].

Law of Ukraine № 554-IX. (2020). *On the national geospatial data infrastructure*. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/554-20 [in Ukrainian].

Petrushenko, E. S. (2024). Otsinka spryiniatlyvosti terytorii Zakarpatskoi oblasti shchodo rozvytku zsuvnykh protsesiv na osnovi HIS analizu [Assessment of the susceptibility of the Zakarpattia region to landslide processes based on GIS analysis]. In *Suchasni problemy nauk pro Zemliu: Materialy XIV Vseukrainskoi molodizhnoi naukovoi konferentsii-shkoly* (pp. 10–11). Kyiv [in Ukrainian].

Shekhunova, S. B., Siumar, N. P., Lobasov, O. P., & Stadnichenko, S. M. (2022). Analiz prostorovykh zakonomirnostei poshyrennia zsuviv u mezhakh Zakarpatskoi oblasti zasobamy HIS

[Analysis of spatial patterns of landslide distribution within the Zakarpattia region using GIS]. *Ukrainian Geographical Journal*, (3), 11–20. https://doi.org/10.15407/ugz2022.03.011 [in Ukrainian].

Shtohryn, L., Anikeiev, S., Kuzmenko, E., & Bahrii, S. (2021). Vidobrazhennia aktyvnosti zsuvnykh protsesiv u rehionalnomu hravitatsiinomu ta mahnitnomu poliakh (na prykladi Zakarpatskoi oblasti) [Reflection of landslide activity in regional gravity and magnetic fields (case of the Zakarpattia region)]. *Geodynamics, 1*(30), 65–77. https://doi.org/10.23939/jgd2021.01.065 [in Ukrainian].

УДК 550:311

УНОРМУВАННЯ ТЕРМІНОЛОГІЇ В ГЕОЛОГІЇ

Вдовиченко А.І.*[1]*, *академік АТН України,* *vdovichenkoai@gmail.com;*
Калинович В.М.*[2]*, *член-кор. АТН України, karat.byr@gmail.com;*
Ремезова О.О.*[3]*, *д. геол. н., https://orcid.org/0000-0002-1955-1270,*
elena.titania2305@gmail.com;
Ярошовець К.А.[3], *м. н. с., https://orcid.org/0000-0001-5885-3768,*
katerina.yaroshovetseo_33@ukr.net,
1 – Академія технологічних наук України, м. Київ, Україна,
2 – Спілка буровиків України, м. Київ, Україна,
3 – Інститут геологічних наук НАН України, м. Київ, Україна

Досліджено стан дотримання термінологічних вимог у назвах органів влади, наукових установ і підприємств геологічної галузі та виявлені недоліки, які суттєво стримують діяльність по гармонізації з міжнародними стандартами, сучасні тенденції з мінімалізму у брендингу, спрощенню документообігу, налагодження комунікації і взаєморозуміння між науковцями і фахівцями різних сфер діяльності. Запропоновані заходи по усуненню виявлених недоліків

Ключові слова: термінологія, унормування, геологічна галузь, назва органів влади, наукових установ і підприємств

STANDARDIZATION OF TERMINOLOGY IN GEOLOGY

Vdovychenko A.*[1]*, *academician of ATS of Ukraine, vdovichenkoai@gmail.com;*
Kalynovych V.*[2]*, *corresponding member of ATS of Ukraine, karat.byr@gmail.com;*
Remezova O.*[3]*, *Dr. Sci. (Geol.), https://orcid.org/0000-0002-1955-1270,*
elena.titania2305@gmail.com;
Yaroshovets K.*[3]*, *Junior Researcher, https://orcid.org/0000-0001-5885-3768,*
katerina.yaroshovetseo_33@ukr.net,
1 – Academy of Technological Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine,
2 – PO «Union of Drillers of Ukraine, Kyiv, Ukraine,
3 – Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

This study examined compliance with terminological requirements in the names of government agencies, scientific institutions, and enterprises in the geological sector. It identifies imperfections that significantly hinder efforts to harmonize with international standards, as well as modern trends — such as minimalism in branding, the streamlining document flow, and the fostering of communication and mutual understanding among scientists and specialists across various fields. The measures have been proposed to remove the identified shortcomings.

Keywords: terminology, standardization, geological sector, names of government bodies, scientific institutions, and enterprises.

«Хаос у державі починається тоді,
коли слова втрачають свій справжній сенс.
Коли терміни та назви правильні,
вони звучать природно,
і все, що сказано, може бути виконано»
Конфуцій, мислитель і філософ Китаю
(551 – 479 рр. до н.е.)

Актуальність проблеми. Унормування (стандартизація) геологічної термінології — це процес систематизації, упорядкування та законодавчого або наукового закріплення термінів, які використовуються в геологічних науках. Його головна мета — усунення двозначності, синонімії та застарілих понять для забезпечення точної комунікації між науковцями, виробничниками та міжнародною спільнотою. Українська геологічна наука має розробляти стандарти, сумісні з міжнародними (наприклад, з номенклатурою *IUGS* — Міжнародного союзу геологічних наук).

Незважаючи на наявність чітко визначених вимог щодо формування та унормування термінології, а також визначених органів, відповідальних за її постійний моніторинг,

актуалізацію та дотримання встановлених норм, у геологічній галузі спостерігаються системні порушення принципів термінологічного унормування. Такий стан зумовлює виникнення низки проблем у професійній комунікації, нормативно-правовому забезпеченні, науковій діяльності та міжнародній взаємодії, що в свою чергу ускладнює гармонізацію вітчизняної геологічної термінології з міжнародними стандартами.

Аналіз останніх публікацій за темою. Геологія, за оцінками окремих дослідників [1], належить до тих наук, що найменше забезпечені довідковими виданнями українською мовою. В Україні енциклопедично-довідкових видань із точних наук загалом менше, ніж із соціогуманітарних. Проблеми термінології при формуванні та реалізації державної політики у нафтогазовій галузі висвітлені в роботі [2]. Проблема суттєвих недоліків у формуванні та вживанні геологічної термінології розглядається, зокрема, у роботі А.І. Вдовиченко, О.О. Ремезової та К.А. Ярошовець [3], де проаналізовано особливості використання зазначеного терміна в геологічному контексті та акцентовано увагу на необхідності його коректного термінологічного застосування.

Мета досліджень. Виявити термінологічні вади в назвах деяких органів влади, наукових установ, закладів, підприємств і організацій геологічної галузі, акцентувати важливість цієї теми та привернути увагу наукової спільноти, фахової громадськості та влади до проблеми унормування термінології.

Виклад основного матеріалу. Упорядкування термінів в геологічній галузі відбувається на кількох рівнях:

- Держгеонадра та ДГІ (Державна геологічна інформація): Затверджують інструкції, класифікації запасів корисних копалин та регламенти.

- Національний стратиграфічний комітет (НСК) України: Відповідає за унормування стратиграфічних підрозділів, геохронологічної шкали та затвердження Стратиграфічного кодексу України.

Інститути НАН України: Інститут геологічних наук, Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М.П. Семененка. Вони видають фундаментальні словники та довідкові видання.

- Державні стандарти України (ДСТУ): ДП «УкрНДНЦ». Закріплює офіційні терміни та визначення на законодавчому рівні (наприклад, ДСТУ щодо класифікації підземних вод, твердих корисних копалин тощо).

Аналіз діяльності цих організацій в унормуванні галузевої термінології необхідно розпочати власне із їх офіційних назв. Так в назві «Державна служба геології та надр України» допущена тавтологія - смисловий повтор**:** поєднання різних слів, які мають однакове значення. Якщо вжито термін «геологія», як наука яка охоплює вивчення земних надр, то додавати термін «надра» - це роз'яснення для некомпетентних. Також термін «державна» не є обов'язковим. Найбільш коректною, уніфікованою, лаконічною і чітко зрозумілою в міжнародній співпраці назвою може бути тільки «Геологічна служба України» за прикладом кращих світових практик розвинутих країн, таких як Норвегії, Швеції, Фінляндії, Великої Британії та багатьох інших.

Стосовно академічних установ НАН України, то в їх назвах також спостерігаються подібні факти. В назві Інститут геологічних наук Національної академії наук України двічі повторюються термін «наука». Більш закономірною назвою в даному випадку більш коректною є назва «Інститут геології НАН України» подібно до діючої назви «Інститут геофізики НАН України».

Приклад застосування назви «інститут геології» є в Чехії — Institute of Geology of the Czech Academy of Sciences(Geologický ústav AV ČR).

В Словаччині є Інститут геології Словацької академії наук (Institute of Geology of the SAS / Ústav vied o Zemi SAV). Наразі він інтегрований у масштабнішу структуру — Інститут наук про Землю Словацької академії наук, що має геологічне та геофізичне відділення.

Геологічний інститут імені Страшимира Димитрова (Geological Institute "Strashimir Dimitrov") діє у складі Болгарської академії наук.

У країнах Західної та Північної Європи аналогічні за назвою заклади — наприклад, Польський геологічний інститут (PGI-PIB) чи Румунський геологічний інститут (IGR) — є окремими державними геологічними службами (наглядовими чи привілейованими міністерствами установами), а не частиною академій наук.

Головною та найбільшою науковою установою Хорватії широкого геологічного профілю є самостійний державний інститут — Хорватський геологічний інститут (Hrvatski geološki institut – HGI-CGS), який не входить безпосередньо до структури академії наук, але тісно з нею співпрацює.

Багатослів'я у назвах установ (або мовне канцеляризування) — це поширена проблема офіційно-ділового стилю, коли назва організації, міністерства чи закладу містить надмірну кількість слів, дублює зміст або має занадто складну граматичну структуру. Характерним прикладом такого є назва «Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П.Семененка НАН України». Терміни «геохімія» і «мінералогія» є складовими в процесі рудоутворення і тому назва установи підлягає скороченню.

Сучасна тенденція у світі є мінімалізм у брендингу – стратегічний підхід, який фокусується на простоті, чистоті ліній та усуненні зайвих деталей заради чіткого донесення суті бренду. Повну юридичну назву залишають лише в статуті, а для максимальної комунікації використовують короткі, унікальні і влучні назви, які легко запам'ятовуються.

В назвах геологічних підприємств поки що такої тенденції не дотримуються. Так, Державне підприємство «Українська геологічна компанія», яке виконує не тільки геологічні дослідження, а цілий комплекс геологорозвідувальних робіт і тому більш обґрунтованою назвою може бути «Укргеологорозвідка», а Казенне підприємство «Кіровгеологія» - «Кіровгеологорозвідка», подібно до «Укрнафта», «Газвидобування», «Нафтогаз України».

Висновки. На підставі проведених досліджень встановлено суттєві термінологічні недоліки у формуванні назв органів центральної виконавчої влади, наукових установ та підприємств геологічної галузі. Виявлені недоліки ускладнюють гармонізацію галузевої термінології з міжнародними стандартами, суперечать сучасним тенденціям мінімалізму у брендингу, ускладнюють документообіг, а також перешкоджають налагодженню ефективної комунікації та взаєморозуміння між фахівцями різних сфер діяльності.

Для усунення встановлених недоліків пропонується наступне:

1. Винести на широке обговорення за участю представників органів державної влади, наукових установ, закладів вищої освіти та професійної громадськості проблему унормування термінології у геологічній галузі.

2. Передбачати у програмах наукових конференцій окрему термінологічну тематику, присвячену питанням уніфікації, стандартизації та сучасного розвитку геологічної термінології.

3. Розглянути на спеціальному засіданні за участю представників Державної служби геології та надр України, Національної академії наук України та органів у сфері національної стандартизації сучасний стан унормування термінології у геологічній галузі та розробити комплекс заходів щодо вирішення виявлених проблем.

Список використаних джерел:

1. Железняк, М., Іщенко, О., Бортник, С. (2023). Українські енциклопедії та словники в контексті поширення геологічних знань. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 4 (103), 19-25.

2. Вдовиченко, А.І., Єрмаков, П.П., Єрмаков, М.П. (2018). Проблеми термінології при формуванні та реалізації державної політики у нафтогазовій галузі. *Матеріали всеукраїнського науково-технічної конференції «Нафта і газ. Наука – Освіта –*

Виробництво: шляхи інтеграції та інноваційного розвитку». (с.105-109). Вид-во Дрогобич: ТзОВ «Трек – ЛТД».

3. Вдовиченко, А.І., Ремезова, О.О., Ярошовець, К.А. (2026). Про некоректне вживання терміну «еволюція» в геології. У Л.М. Степанюк та ін.(Ред.). *Збірник тез ІІ Всеукраїнської наукової конференції «Геологічна будова та корисні копалини України»*. (с. 183-185). Вид-во НАН України, Ін-т геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка. https://doi.org/10.35668/978-617-8521-04-2

References

Vdovichenko, A.I., Remezova, O.O., Yaroshovets, K.A. (2026). On the Incorrect Use of the Term “Evolution” in Geology. In L.M. Stepanuk et al. (Eds.). Proceedings of the II All-Ukrainian Scientific Conference “Geological Structure and Mineral Resources of Ukraine.” (pp. 183–185). Published by the National Academy of Sciences of Ukraine, M.P. Semenko Institute of Geochemistry, Mineralogy, and Ore Formation. https://doi.org/10.35668/978-617-8521-04-2 [in Ukrainian]

Vdovichenko, A.I., Yermakov, P.P., Yermakov, M.P. (2018). Terminology Issues in the Formulation and Implementation of State Policy in the Oil and Gas Industry. Proceedings of the All-Ukrainian Scientific and Technical Conference “Oil and Gas: Science – Education – Production: Paths to Integration and Innovative Development” (pp. 105–109). Published by Drohobych: Track–LTD LLC. [in Ukrainian]

Zheleznyak, M., Ishchenko, O., Bortnik, S. (2023). Ukrainian Encyclopedias and Dictionaries in the Context of the Dissemination of Geological Knowledge. *Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology,* 4 (103), 19–25. [in Ukrainian]

УДК 622:352(477)

РОЛЬ ТЕРИТОРІАЛЬНИХ ГРОМАД У ЗАБЕЗПЕЧЕННІ СОЦІАЛЬНО ВІДПОВІДАЛЬНОГО НАДРОКОРИСТУВАННЯ В УКРАЇНІ

Грицанюк В.В., *ORCID ID* 0000-0001-7066-0600**,** *vita.hrytsanyuk@gmail.com,*
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Львів, Україна

Розглянуто соціальну складову надрокористування крізь призму якості життя населення, зайнятості, розвитку місцевої інфраструктури, соціальної згуртованості, участі громад у прийнятті рішень та справедливого розподілу результатів і соціальних наслідків видобувної діяльності. Визначено роль територіальних громад як активних суб'єктів взаємодії з видобувними підприємствами та учасників формування соціальних пріоритетів розвитку територій. Окреслено значення механізмів надходження рентних платежів до місцевих бюджетів для зміцнення фінансової спроможності громад, наголошуючи, що сам факт надходження коштів не забезпечує автоматичного соціального розвитку. Розкрито значення соціальної відповідальності видобувних підприємств, зокрема через соціальні інвестиції, підтримку зайнятості, розвиток людського потенціалу, сприяння реінтеграції ветеранів та формування безбар'єрного середовища. Акцентовано, що в умовах війни та повоєнного відновлення соціально відповідальне надрокористування має ґрунтуватися на партнерстві громад, держави та підприємств, прозорості, врахуванні потреб населення та орієнтації на довгостроковий соціальний розвиток територій.

Ключові слова: територіальні громади, соціально відповідальне надрокористування, соціальна відповідальність, видобувні підприємства, сталий розвиток, соціальна стійкість.

THE ROLE OF TERRITORIAL COMMUNITIES IN ENSURING SOCIALLY RESPONSIBLE SUBSOIL USE IN UKRAINE

Hrytsaniuk V., *ORCID ID 0000-0001-7066-0600, vita.hrytsanyuk@gmail.com,*
Lviv State University of Life Safety, Ukraine

The social component of subsoil use is considered through the lens of the quality of life of the population, employment, development of local infrastructure, social cohesion, community participation in decision-making, and the equitable distribution of the results and social consequences of extractive activities. The role of territorial communities as active participants in interaction with extractive enterprises and in shaping social priorities for territorial development is identified. The importance of mechanisms for allocating rent payments to local budgets in strengthening the financial capacity of communities is outlined, emphasizing that the mere inflow of funds does not automatically ensure social development. The significance of the social responsibility of extractive enterprises is revealed, particularly through social investment, employment support, human capital development, assistance in the reintegration of veterans, and the creation of an accessible and barrier-free environment. It is emphasized that, in the context of war and post-war recovery, socially responsible subsoil use should be based on partnerships among communities, the state, and enterprises, transparency, consideration of the needs of the population, and a focus on the long-term social development of territories.

Keywords: territorial communities, socially responsible subsoil use, social responsibility, extractive enterprises, sustainable development, social sustainability.

Вступ. Стале надрокористування в Україні набуває особливої актуальності в умовах повномасштабної війни, структурної перебудови економіки та формування засад повоєнного відновлення. Мінерально-сировинний потенціал України є важливим чинником економічної та енергетичної безпеки держави, а розвиток видобувної галузі пов'язаний із зайнятістю населення, бюджетними надходженнями та відновленням територій. Водночас концентрація видобувної діяльності на певних територіях зумовлює нерівномірний розподіл її економічних вигод та соціально-екологічних наслідків, що актуалізує питання справедливості, участі населення та відповідальності суб'єктів господарювання.

У сучасному науковому дискурсі сталий розвиток добувної галузі розглядається не лише з точки зору економічної ефективності й мінімізації впливу на довкілля, а й з позицій соціальної відповідальності та співпраці з місцевими громадами. Дослідження соціальної відповідальності гірничодобувних компаній показують потребу відходу від вузького уявлення «соціальної ліцензії на діяльність» до системного підходу, де соціальні питання стають невід'ємною частиною стратегічного планування проєктів поряд з екологічними та

управлінськими аспектами [1]. Такий підхід передбачає не лише інформування населення, а й формування довіри, врахування інтересів зацікавлених сторін і довгострокову взаємодію компаній із громадами.

Особливого значення набуває проблема справедливого розподілу результатів і наслідків надрокористування. Як зазначають Florkowska та Bryt-Nitarska [2], сталий розвиток гірничих і постгірничих територій потребує врахування соціальних наслідків видобувної діяльності, участі місцевих спільнот у прийнятті рішень та забезпечення балансу між економічними вигодами й витратами, які несуть території, безпосередньо пов'язані з видобуванням. Економічні переваги використання природних ресурсів можуть мати загальнодержавний масштаб, тоді як соціальні, інфраструктурні та екологічні ризики значною мірою концентруються на рівні конкретних громад.

Для України зазначена проблематика посилюється процесами децентралізації, європейської інтеграції та пошуком моделей відновлення, орієнтованих на принципи сталості. Територіальні громади мають розглядатися не лише як території розміщення об'єктів видобувної промисловості, а як повноцінні учасники формування та реалізації політики у сфері надрокористування. Важливого значення набувають прозорість інформації, участь громадськості, соціальне партнерство, розвиток людського потенціалу та місцевої соціальної інфраструктури, а також відповідальність підприємств за довгострокові наслідки своєї діяльності.

Таким чином, актуальність дослідження зумовлена необхідністю посилення соціальної складової надрокористування в Україні та формування ефективної взаємодії між державою, видобувними підприємствами й територіальними громадами, за якої використання мінеральних ресурсів сприятиме соціальній стійкості територій та підвищенню якості життя їхнього населення.

Метою статті є визначення ролі територіальних громад у забезпеченні соціально відповідального надрокористування в Україні, розкриття механізмів їхньої участі у формуванні соціальних пріоритетів розвитку територій та обґрунтування значення соціальної відповідальності видобувних підприємств у забезпеченні соціальної стійкості громад.

Виклад основного матеріалу. Сталий розвиток надрокористування доцільно розглядати як комплексний процес, у якому економічна ефективність використання мінерально-сировинного потенціалу має поєднуватися з екологічною безпекою та забезпеченням соціальних інтересів населення. У цьому контексті соціальна складова не може зводитися виключно до створення робочих місць або сплати підприємствами податків. Вона охоплює вплив видобувної діяльності на якість життя населення, розвиток місцевої соціальної інфраструктури, зайнятість, соціальну згуртованість, участь територіальних громад у прийнятті рішень та справедливий розподіл результатів використання природних ресурсів.

Такий підхід узгоджується із сучасним розумінням сталого розвитку територіальних громад, відповідно до якого їхня стійкість пов'язана не лише з фінансовою спроможністю, а й зі здатністю адаптуватися до соціально-економічних та екологічних викликів, підтримувати соціальну згуртованість і забезпечувати належну якість життя населення. Для територій, на яких здійснюється інтенсивне природокористування, особливого значення набуває врахування соціальних наслідків видобувної діяльності та можливостей населення впливати на рішення, що визначають майбутнє території.

Отже, соціальну складову сталого надрокористування доцільно розглядати через конкретні суспільні результати: доступність і якість соціальних послуг, розвиток інфраструктури, можливості зайнятості та професійного розвитку, підтримку вразливих груп населення, соціальну згуртованість, участь громадян у прийнятті рішень та підвищення якості життя. Саме ці результати дають змогу оцінювати надрокористування не лише як процес використання природного ресурсу, а і як чинник розвитку територій.

Територіальні громади в системі сталого надрокористування доцільно розглядати не лише як території, на яких розміщуються об'єкти видобувної діяльності, а як активних суб'єктів соціального розвитку та учасників формування відповідної політики. Такий підхід передбачає врахування інтересів населення територій, безпосередньо пов'язаних із видобуванням корисних копалин, а також забезпечення для них частини результатів використання природно-ресурсного потенціалу.

Одним із механізмів забезпечення такого зв'язку є рентна плата за користування надрами. Дослідження Н. Мединської та Ю. Мороз засвідчує, що в умовах бюджетно-фіскальної децентралізації підвищення ефективності вилучення та розподілу мінерально-сировинної ренти може створювати додаткові фінансові передумови для розвитку територіальних громад та підвищувати зацікавленість органів місцевого самоврядування у комплексному використанні природно-ресурсного потенціалу [7]. Водночас надходження коштів саме по собі не гарантує соціального ефекту: важливо, щоб вони трансформувалися у розвиток соціальної інфраструктури, публічних послуг, людського потенціалу та якості життя населення.

Сучасні українські дослідження видобувної галузі дедалі більше акцентують увагу на інтеграції ресурсної політики з політикою розвитку територіальних громад. Зокрема, В. Венгер, О. Ганжа та Н. Романовська [3] розглядають трансформацію видобувної галузі через призму сталого розвитку громад і підкреслюють необхідність поєднання технологічних, економічних, екологічних та управлінських рішень. Активна участь органів місцевого самоврядування поряд із підприємствами, науковими установами та іншими зацікавленими сторонами є важливою умовою стійкого розвитку територій, пов'язаних із видобувною діяльністю. Як бачимо, роль територіальних громад має виходити за межі отримання бюджетних надходжень. Громада є зацікавленою стороною, учасником прийняття рішень та суб'єктом територіального розвитку, інтереси якого мають враховуватися протягом усього життєвого циклу видобувного проєкту. Це передбачає доступ до інформації, участь у визначенні соціальних пріоритетів, врахування соціальних та екологічних наслідків видобування та формування партнерської взаємодії держави, органів місцевого самоврядування, бізнесу та населення.

Соціальна відповідальність видобувних підприємств у контексті сталого надрокористування має розглядатися як складова довгострокової взаємодії бізнесу з територіями та населенням, на які впливає видобувна діяльність. Її зміст не повинен обмежуватися благодійністю чи одноразовою фінансовою допомогою громаді. Йдеться про системну відповідальність підприємства за соціальні наслідки своєї діяльності, дотримання прав працівників, безпеку та належні умови праці, участь у розвитку територій, відкритість у взаємодії із зацікавленими сторонами та сприяння розв'язанню соціальних проблем.

Сучасні українські дослідження корпоративної соціальної відповідальності засвідчують, що її основними напрямами є дотримання прав людини, якісні трудові практики, охорона довкілля, етичне управління, благодійність і волонтерство, а в умовах війни КСВ набуває додаткового значення як інструмент підтримки суспільства та взаємодії бізнесу з державою і територіальними спільнотами [4]. Для підприємств видобувного сектору це означає необхідність враховувати соціальні потреби територій уже на етапі планування та реалізації видобувних проєктів.

Важливим елементом соціальної відповідальності є постійний діалог із територіальною громадою. Населення має отримувати доступну інформацію про характер і масштаби видобувної діяльності, можливі соціальні та екологічні наслідки, перспективи зайнятості та очікувані вигоди для території. Водночас комунікація має передбачати не лише інформування, а й можливість громади висловлювати свої потреби та брати участь у визначенні соціальних пріоритетів.

Окремий напрям становлять соціально-інвестиційні механізми. Видобувне підприємство може брати участь у фінансуванні проєктів, спрямованих на розвиток медичних, освітніх, культурних, спортивних та інших соціальних послуг. Водночас такі заходи доцільно формувати спільно з громадою та пов'язувати зі стратегічними документами її розвитку. Таким чином, соціальна відповідальність переходить від моделі ситуативної благодійності до соціального партнерства, у якому підприємство і громада спільно визначають проблеми та можливості їх вирішення.

Особливої актуальності набуває підтримка людського потенціалу та зайнятості. Видобувні підприємства можуть сприяти професійній підготовці та перепідготовці населення, розвитку місцевого підприємництва, створенню робочих місць, підтримці молоді та залученню місцевих постачальників. У довгостроковій перспективі це сприяє формуванню більш стійкої територіальної економіки та зменшенню залежності громади від одного роботодавця.

В українських умовах соціальна відповідальність підприємств має також включати підтримку ветеранів та членів їхніх сімей. Для територіальних громад важливими є програми соціальної адаптації, психологічної підтримки, професійної реінтеграції, сприяння зайнятості та розвитку ветеранського підприємництва. Видобувні підприємства можуть виступати фінансовими та організаційними партнерами громад у реалізації таких програм через співфінансування соціальних і реабілітаційних послуг, професійного навчання, працевлаштування та підтримку ветеранського підприємництва.

Ще одним важливим напрямом є формування безбар'єрного середовища. Для громад, пов'язаних із видобувною діяльністю, це передбачає фізичну, транспортну, інформаційну та цифрову доступність соціальної інфраструктури, а також створення умов для повноцінної участі людей з інвалідністю та ветеранів у житті громади. Сучасні дослідження соціальної реабілітації наголошують на значенні безбар'єрного середовища та державно-приватного партнерства у розвитку інклюзивного суспільства [6]. Соціально відповідальна діяльність видобувних підприємств має бути орієнтована на довгостроковий соціальний розвиток територій присутності. Оптимальною є модель, за якої територіальна громада визначає соціальні пріоритети відповідно до потреб населення, а підприємство бере участь у їх фінансовому та організаційному забезпеченні.

Повномасштабна війна істотно змінила соціальні умови функціонування територіальних громад України. Руйнування інфраструктури, переміщення населення, мобілізація значної частини працездатних громадян, зростання кількості ветеранів та осіб з інвалідністю, психологічні наслідки війни і збільшення навантаження на соціальні послуги формують нові вимоги до місцевої політики розвитку. Відповідно, для територій, пов'язаних із видобувною діяльністю, соціальні пріоритети мають враховувати не лише традиційні потреби розвитку, а й завдання підтримки та інтеграції людей, постраждалих від війни.

У цих умовах особливого значення набувають програми підтримки ветеранів і членів їхніх сімей, соціально-психологічна допомога, професійна реінтеграція, розвиток реабілітаційних послуг, підтримка ветеранського підприємництва та формування безбар'єрного середовища. Реалізація таких завдань потребує поєднання можливостей органів місцевого самоврядування, державних інституцій, громадських організацій та відповідального бізнесу.

Видобувні підприємства не мають замінювати державу чи територіальну громаду, а можуть виступати партнерами у реалізації соціальної політики території. Така модель передбачає співфінансування соціальних програм, підтримку медичної та реабілітаційної інфраструктури, сприяння працевлаштуванню ветеранів, адаптацію робочих місць, фінансування заходів із безбар'єрності та підтримку місцевих ініціатив.

Практика українського видобувного сектору вже демонструє окремі приклади такого підходу. Ferrexpo у громадах, де працюють її підприємства, здійснює соціальні та гуманітарні

проєкти, підтримує медичну й освітню інфраструктуру, а також підтримує постійний діалог із місцевими громадами через локальні CSR-комітети. Після початку повномасштабної війни компанія спрямовувала ресурси на гуманітарну підтримку громад [8].

Показовим є також досвід Групи «Нафтогаз», яка у 2025 році спільно з Києво-Могилянською академією започаткувала лідерську програму «Майбутні горизонти Нафтогазу» для працівників-ветеранів, спрямовану на розвиток управлінських, лідерських і проєктних компетентностей [9].

Важливою складовою повоєнного відновлення є також збереження та створення робочих місць. Для громад, економіка яких значною мірою залежить від видобувної промисловості, стабільна робота підприємств має безпосередній соціальний ефект через зайнятість населення та доходи домогосподарств. Водночас довгострокова стійкість таких територій потребує розвитку людського капіталу, підтримки нових видів підприємницької діяльності та створення умов для диверсифікації після завершення активної фази видобування.

Окремого значення для повоєнного розвитку набуває формування безбар'єрного середовища. Відновлення територій доцільно здійснювати з інтеграцією вимог фізичної, інформаційної, цифрової та соціальної доступності в реконструкцію громадських будівель, медичних і освітніх установ, транспортної та іншої інфраструктури. Участь підприємств у фінансуванні таких проєктів може стати одним із напрямів їхньої соціальної відповідальності.

Таким чином, у період війни та повоєнного відновлення соціальна складова надрокористування має концентруватися на трьох взаємопов'язаних завданнях: забезпеченні доступності соціальних послуг та інфраструктури, підтримці людського потенціалу й зайнятості та формуванні інклюзивного і безбар'єрного середовища з особливою увагою до ветеранів, осіб з інвалідністю та інших груп, які потребують додаткової підтримки.

Висновки. Обґрунтовано, що соціальна складова є важливим елементом сталого надрокористування в Україні, а територіальні громади відіграють ключову роль у визначенні соціальних пріоритетів розвитку територій, пов'язаних із видобувною діяльністю. Забезпечення соціальної стійкості таких територій передбачає розвиток соціальної інфраструктури та послуг, підтримку людського потенціалу, ветеранів та їхніх сімей, формування безбар'єрного середовища й участь населення у прийнятті рішень. Визначено, що соціальна відповідальність видобувних підприємств має реалізовуватися через довгострокове партнерство з громадами, співфінансування соціальних програм, підтримку зайнятості та участь у розв'язанні соціальних проблем територій. В умовах війни та повоєнного відновлення така взаємодія набуває особливого значення для підвищення якості життя населення, підтримки соціальної стійкості та забезпечення збалансованого розвитку територіальних громад.

Список використаних джерел:

1. Verrier, B., Smith, C., Yahyaei, M., Ziemski, M., Forbes, G., Witt, K., & Azadi, M. (2022). Beyond the social license to operate: Whole system approaches for a socially responsible mining industry. *Energy Research & Social Science*, 83, 102343. https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102343

2. Florkowska, L., & Bryt-Nitarska, I. (2026). Social Responsibility of Science in the Sustainable Development of Mining and Post-Mining Areas. *Applied Sciences*, 16(2), 776. https://doi.org/10.3390/app16020776

3. Венгер, В., Ганжа, О., & Романовська, Н. (2026). Циркулярні моделі трансформації видобувної галузі для забезпечення сталого розвитку громад. *Acta Academiae Beregsasiensis. Economics,* 1(13), 63–78. https://doi.org/10.58423/2786-6742/2026-13-63-78

4. Єрмаков, М., & Паливода, О. (2025). Напрями реалізації соціально відповідальної діяльності підприємств в Україні. *Економіка та суспільство*, (76). https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-76-83

5. Гамова, О., Ющенко, Ю., & Єрмак, В. (2024). Розвиток об'єднаних територіальних громад: тенденції та перспективи. *Фінансові стратегії інноваційного розвитку економіки*, (1(61)), 33–37. https://doi.org/10.26661/2414-0287-2024-1-61-06

6. Поплавська, О., & Василенко, Я. (2026). Удосконалення системи соціальної реабілітації осіб з інвалідністю. *Економіка та суспільство*, (85). https://doi.org/10.32782/2524-0072/2026-85-110

7. Мединська Н., Мороз Ю. (2023). Надходження рентної плати за користування надрами у місцеві бюджети в контексті модернізації економічного механізму природокористування. *Землеустрій, кадастр і моніторинг земель*, 1. https://doi.org/10.31548/zemleustriy2023.01.11

8. Ferrexpo. Співпраця з місцевими зацікавленими сторонами. https://www.ferrexpo.com/responsibility/supporting-communities/ (дата звернення 25.09.2026)

9. Нафтогаз спільно з Києво-Могилянською академією запустив лідерську програму для працівників-ветеранів. https://www.naftogaz.com/news/spilno-z-kyyevo-mohylyanskoyu-akademiyeyu-zapustyv-lidersku-prohramu-dlya-pratsivnykiv-veteraniv (дата звернення 25.09.2026)

References

1. Verrier, B., Smith, C., Yahyaei, M., Ziemski, M., Forbes, G., Witt, K., & Azadi, M. (2022). Beyond the social license to operate: Whole system approaches for a socially responsible mining industry. *Energy Research & Social Science*, 83, 102343. https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102343

2. Florkowska, L., & Bryt-Nitarska, I. (2026). Social Responsibility of Science in the Sustainable Development of Mining and Post-Mining Areas. *Applied Sciences*, 16(2), 776. https://doi.org/10.3390/app16020776

3. Venher, V., Hanzha, O., & Romanovska, N. (2026). Tsyrkuliarni modeli transformatsii vydobuvnoi haluzi dlia zabezpechennia staloho rozvytku hromad [Circular models of transformation of the extractive industry to ensure sustainable development of communities]. *Acta Academiae Beregsasiensis. Economics, 1*(13), 63–78. https://doi.org/10.58423/2786-6742/2026-13-63-78 [in Ukrainian]

4. Yermakov, M., & Palyvoda, O. (2025). Napriamy realizatsii sotsialno vidpovidalnoi diialnosti pidpryiemstv v Ukraini [Directions for implementing socially responsible activities of enterprises in Ukraine]. *Ekonomika ta suspilstvo*, (76)https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-76-83 [in Ukrainian]

5. Hamova, O., Yushchenko, Yu., & Yermak, V. (2024). Rozvytok obiednanykh terytorialnykh hromad: tendentsii ta perspektyvy [Development of united territorial communities: Trends and prospects]. *Finansovi stratehii innovatsiinoho rozvytku ekonomiky*, (1(61)), 33–37. https://doi.org/10.26661/2414-0287-2024-1-61-06 [in Ukrainian]

6. Poplavska, O., & Vasylenko, Ya. (2026). Udoskonalennia systemy sotsialnoi reabilitatsii osib z invalidnistiu [Improvement of the System of Social Rehabilitation of Persons with Disabilities]. *Ekonomika ta suspilstvo*, (85). https://doi.org/10.32782/2524-0072/2026-85-110 [in Ukrainian]

7. Medynska, N., & Moroz, Yu. (2023). Nadkhodzhennia rentnoi platy za korystuvannia nadramy u mistsevi biudzhety v konteksti modernizatsii ekonomichnoho mekhanizmu pryrodokorystuvannia [Receipts of rent payments for subsoil use to local budgets in the context of modernization of the economic mechanism of natural resource management]. *Zemleustrii, kadastr i monitorynh zemel*, (1). https://doi.org/10.31548/zemleustriy2023.01.11 [in Ukrainian]

8. Ferrexpo. (n.d.). *Spivpratsia z mistsevymy zatsikavlenymy storonamy [Cooperation with local stakeholders]*. https://www.ferrexpo.com/responsibility/supporting-communities/ [in Ukrainian]

9. Naftogaz. (2026). *Naftogaz spilno z Kyievo-Mohylianskoiu akademiieiu zapustyv lidersku prohramu dlia pratsivnykiv-veteraniv [Naftogaz, together with Kyiv-Mohyla Academy, launched a leadership program for veteran employees]* https://www.naftogaz.com/news/spilno-z-kyyevo-mohylyanskoyu-akademiyeyu-zapustyv-lidersku-prohramu-dlya-pratsivnykiv-veteraniv [in Ukrainian]

УДК 343.13:349.6

КРИМІНАЛЬНО-ПРОЦЕСУАЛЬНІ РИЗИКИ НАДРОКОРИСТУВАННЯ ТА ЇХ ВПЛИВ НА ІНВЕСТИЦІЙНИЙ ПОТЕНЦІАЛ МІНЕРАЛЬНО-СИРОВИННОЇ БАЗИ УКРАЇНИ

***Кулик М.С.**, доктор філософії у галузі права, доцент,*
ORCID ID 0000-0003-3093-8895, solomons_mk@ukr.net;
***Бишевич Є.В.**, доцент, solomons_ao@proton.me;*
Адвокатське об'єднання «Соломонс Солюшнс», Київ, Україна;
Київський університет інтелектуальної власності та права, Київ, Україна

На підставі відомостей Офісу Генерального прокурора за 2020 р. – серпень 2026 р., судової статистики за 2020–2025 рр., звітності Бюро економічної безпеки України, практики Конституційного Суду України та Верховного Суду досліджено вплив досудового розслідування кримінальних правопорушень, передбачених ст. ст. 191, 212, 239, 240, 240-1 Кримінального кодексу України (далі – КК України), на діяльність надрокористувачів та інвестиційну привабливість галузі. Встановлено, що з 3 525 кримінальних правопорушень за ст. 240 КК України до суду направлено лише 12 %, а частка правопорушень без процесуального результату зросла з 46 % у 2020 р. до 70 % у 2025 р.; реально позбавлено волі лише 12 із 437 засуджених, а за ст. 212 КК України щодо 96 % обвинувачених провадження закрито. Обґрунтовано, що тривалі арешти можуть перетворювати кримінальний процес на інструмент економічного примусу до відшкодування розрахункових збитків і сплати «добровільних» внесків, а арешт спеціального дозволу із забороною користування фактично зупиняє право користування надрами поза вичерпним переліком підстав ст. 57 Кодексу України про надра. Систематизовано типові порушення, податкові ризики та ознаки пов'язаності суб'єктів господарювання. Запропоновано засоби захисту з урахуванням новітньої судової практики та зміни законодавства: граничні строки арешту майна, обмеження арешту дозволу забороною відчуження, визначення робіт, дозволених під час зупинення дії дозволу.

Ключові слова: надрокористування, інвестиційна привабливість, досудове розслідування, арешт майна, ухилення від сплати податків, тиск на бізнес.

CRIMINAL PROCEDURAL RISKS OF SUBSOIL USE AND THEIR IMPACT ON THE INVESTMENT POTENTIAL OF UKRAINE'S MINERAL RESOURCE BASE

***Kulyk M.**, PhD (Law), Associate Professor, ORCID ID 0000-0003-3093-8895,*
solomons_mk@ukr.net;
***Byshevych Ye.**, Associate Professor, solomons_ao@proton.me;*
Attorneys' Association "Solomon's Solutions", Kyiv, Ukraine;
Kyiv University of Intellectual Property and Law, Kyiv, Ukraine

Drawing on data from the Office of the Prosecutor General (2020 – August 2026), court statistics (2020–2025), reports of the Economic Security Bureau of Ukraine and case law of the Constitutional and Supreme Courts, the paper examines how pre-trial investigations under Articles 191, 212, 239, 240 and 240-1 of the Criminal Code of Ukraine affect subsoil users and the sector's investment attractiveness. Only 12% of the 3,525 offences under Article 240 were sent to court, and the share of offences without any procedural outcome grew from 46% in 2020 to 70% in 2025; only 12 of 437 convicts were sentenced to imprisonment, and proceedings against 96% of defendants under Article 212 were closed. Lengthy seizures can turn criminal procedure into economic coercion to compensate estimated damages and make "voluntary" contributions, while seizing a special permit with a ban on its use de facto suspends subsoil use rights outside the exhaustive grounds of Article 57 of the Code of Ukraine on Subsoil. Typical violations, tax risks and indicators of links between businesses are systematised. Protective measures and legislative changes are proposed: time limits on seizures, limiting permit seizure to a ban on alienation, and defining works allowed during permit suspension.

Keywords: subsoil use, investment attractiveness, pre-trial investigation, seizure of property, tax evasion, pressure on business.

Вступ. Інвестиційна привабливість мінерально-сировинної бази визначається не лише обсягом і якістю апробованих запасів, а й передбачуваністю правового середовища. Станом на серпень 2026 р. в Україні діяло 3 557 спеціальних дозволів на користування надрами; їх власниками були 2 317 українських компаній, 90 фізичних осіб і лише 2 іноземні юридичні особи, а сукупна виручка компаній — власників дозволів у 2025 р. становила 1,5 трлн грн

(Мінфін, 2026). Попит на надра зберігається: у 2025 р. на аукціонах з продажу спеціальних дозволів продано 76 лотів на 1,82 млрд грн (Державна служба геології та надр України, 2026), а ділянки стратегічного та критичного значення виставляються на аукціони лише за переліком, затвердженим Кабінетом Міністрів України (Постанова Кабінету Міністрів України № 993, 2020). Для галузі такого масштабу, особливо для інвесторів у родовища критичної сировини, важливим чинником інвестиційного рішення є кримінально-процесуальний ризик — імовірність блокування діяльності заходами забезпечення кримінального провадження ще до встановлення обставин правопорушення.

Мета, матеріали і методи. Мета дослідження — оцінити вплив процесуальної діяльності правоохоронних органів у кримінальних провадженнях за ст. ст. 191, 212, 239, 240, 240-1 Кримінального кодексу України (далі — КК України; Кримінальний кодекс України, 2001) на надрокористувачів та інвестиційний клімат галузі, а також сформулювати практичні й нормативні засоби мінімізації відповідних ризиків. Емпіричну базу становлять відомості Офісу Генерального прокурора (далі — ОГП) про кримінальні правопорушення за ст. ст. 240, 240-1 КК України та результати їх досудового розслідування у 2020 р. – серпні 2026 р., надані на запит авторів (Офіс Генерального прокурора, 2026); судова статистика Державної судової адміністрації України (далі — ДСА) за формами № 6 і № 7 за 2020–2025 рр.; звітність і матеріали Бюро економічної безпеки України (далі — БЕБ); практика Конституційного Суду України та Верховного Суду. Враховано також досвід авторів: 13 років служби в органах прокуратури (понад 90 позовів в інтересах держави, з них понад 30 — щодо спеціальних дозволів, апробації запасів і стягнення збитків від протиправного видобутку), понад 20 років — у поліції та БЕБ, а також адвокатську практику. Застосовано статистичний, формально-юридичний, порівняльний методи та узагальнення правозастосовної практики.

Результати. ***1. Статистика досудового розслідування.*** Відомості ОГП наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Кримінальні правопорушення за ст. ст. 240, 240-1 КК України та результати їх досудового розслідування у 2020 р. – серпні 2026 р.
(складено авторами за: Офіс Генерального прокурора, 2026)

Період	Ст. 240 КК України					Ст. 240-1 КК України	
	зареєстровано	закрито	направлено до суду	направлено до суду, %	без процесуального результату, %*	зареєстровано	направлено до суду, %
2020	739	306	91	12,3	46,3	298	14,8
2021	839	222	88	10,5	63,1	229	24,5
2022	427	98	53	12,4	64,6	173	30,1
2023	543	163	60	11,0	58,9	238	26,5
2024	367	98	56	15,3	58,0	129	46,5
2025	373	59	53	14,2	70,0	142	54,2
2026 (січ.–серп.)	237	15	21	8,9	84,8	92	68,5
Разом	**3 525**	**961**	**422**	**12,0**	**60,8**	**1 301**	**31,9**

* (Зареєстровано − закрито − направлено до суду) / зареєстровано; показник індикативний; дані за 2026 р. неповні.

До суду направлено 422 провадження (12,0 % зареєстрованих правопорушень), усі — з обвинувальним актом, жодне — з клопотанням про звільнення від кримінальної відповідальності. Частка правопорушень, провадження щодо яких закрито, скоротилася з 41,4 % у 2020 р. до 15,8 % у 2025 р., а частка правопорушень без процесуального результату зросла з 46,3 % до 70,0 %. Тенденція очевидна: провадження дедалі частіше тривають без процесуального рішення, а з ними — і арешти. Для порівняння, за ст. 240-1 КК України (бурштин) частка направлених до суду зросла з 14,8 % до 54,2 %: щодо очевидно нелегального видобутку механізм працює, а провадження за ст. 240 КК України, значна частина яких, за спостереженнями авторів, стосується власників спеціальних дозволів, залишаються відкритими. Провадження за ст. ст. 191, 212 КК України щодо

надрокористувачів ОГП окремо не обліковує (Офіс Генерального прокурора, 2026).

Результати судового розгляду. За 2020–2025 рр. (табл. 2) за ст. 240 КК України зареєстровано 3 288 кримінальних правопорушень, а засуджено 437 осіб, з яких реально позбавлено волі лише 12 (2,7 %); найчастіше призначається штраф (55,8 %) або засуджених звільняють від відбування покарання з випробуванням (39,6 %). Серед засуджених 55,8 % не працювали й не навчалися, а приватних підприємців — лише 4,8 %: вироки рідко стосуються легального бізнесу, тоді як надрокористувачі відчувають тиск насамперед на стадії розслідування (Державна судова адміністрація України, 2021–2026).

Таблиця 2

Розслідування і судовий розгляд за ст. ст. 240, 240-1, 212 КК України у 2020–2025 рр. (складено авторами за: Офіс Генерального прокурора, 2026; Державна судова адміністрація України, 2021–2026)

Показник	Ст. 240	Ст. 240-1	Ст. 212
Зареєстровано кримінальних правопорушень (ОГП)	3 288	1 209	н/д*
Направлено до суду правопорушень (ОГП)	401	352	н/д*
Осіб, щодо яких рішення суду набрали законної сили (ДСА)	556	370	522
з них: засуджено	437	360	13
провадження закрито	115	9	501
Засуджених, реально позбавлених волі	12 (2,7 %)	6 (1,7 %)	0

Примітка. ОГП обліковує кримінальні правопорушення, ДСА — осіб, тому співвідношення є орієнтовними.
* Відомості ОГП щодо ст. 212 КК України не надано.

Ще показовіша ситуація зі ст. 212 КК України: засуджено лише 13 із 522 осіб (2,5 %), а щодо 501 (96 %) провадження закрито — переважно «з інших підстав», зокрема у зв'язку із закінченням строків давності та сплатою податків (ч. 4 ст. 212 КК України); у 2024 р. не засуджено нікого.

2. Механізм трансформації провадження в інструмент тиску. Практика дає змогу виокремити типову модель: 1) реєстрація провадження — нерідко на підставі аналітичного продукту, ще до податкової перевірки та узгодження податкового зобов'язання; 2) одночасні обшуки за місцем діяльності всіх пов'язаних суб'єктів, масові допити працівників, витребування документів у контрагентів із визначенням «строків виконання», які не мають процесуальної природи (Кулик & Бишевич, 2026); 3) арешт спеціального дозволу, гірничої техніки, видобутої продукції та рахунків; 4) повідомлення про «збитки», розмір яких у рази перевищує ринкову вартість сировини (так, у провадженні щодо видобування надрокористувачем понад 113 тис. м³ піску за межами наданої ділянки на Житомирщині збитки за висновком судової інженерно-екологічної експертизи оцінено у 2,5 млрд грн, тобто близько 22 тис. грн за 1 м³ (Офіс Генерального прокурора, 2025), тоді як мінімальна ціна піску для розрахунку рентної плати — кілька сотень гривень за 1 м³); 5) неформальна пропозиція «врегулювання» — відшкодування та «добровільний» внесок на потреби Збройних Сил України (далі — ЗСУ) як умова зняття арештів чи закриття провадження. Навіть методика Міндовкілля, за роз'ясненням Державної екологічної інспекції України (далі — Держекоінспекція), передбачає п'ятикратну вартість самовільно видобутої сировини (Наказ Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України № 366, 2022; Державна екологічна інспекція у Тернопільській області, 2024) — наведена оцінка перевищує і цей рівень. Офіційної статистики «добровільних» внесків немає, але фінансове врегулювання проваджень уже обговорюється відкрито: БЕБ винесло на громадське обговорення механізм досудового врегулювання — закриття проваджень за ст. ст. 212, 212-1 КК України за умови сплати податків, штрафних санкцій і 50 % суми встановлених збитків на рахунок для потреб ЗСУ (Бюро економічної безпеки України, 2026b). Проблему визнано й на державному рівні: рішенням Ради національної безпеки і оборони України передбачено перегляд кримінальних проваджень щодо бізнесу та прискорення розгляду законопроєкту № 12439 (Указ Президента України № 538/2025, 2025). Підтримка оборони — спільний обов'язок, проте внесок під тиском арешту є формою процесуального примусу без законодавчої основи. Тривалі арешти, що блокують

діяльність, суперечать ч. 4 ст. 173 Кримінального процесуального кодексу України (далі — КПК України; Кримінальний процесуальний кодекс України, 2012), яка вимагає застосовувати арешт майна так, щоб не зупинити і надмірно не обмежити правомірну підприємницьку діяльність особи. Арешт спеціального дозволу із забороною користування по суті зупиняє право користування надрами поза вичерпним переліком підстав ст. 57 Кодексу України про надра, тоді як навіть законне зупинення за цією статтею не перериває строку дії дозволу (Кодекс України про надра, 1994). Щодо ст. 212 КК України Верховний Суд виходить із того, що несплата податку сама по собі не є достатньою підставою для визнання особи винуватою, а податкове зобов'язання, оскаржене платником, не є узгодженим (Постанова Касаційного кримінального суду у складі Верховного Суду у справі № 201/9734/21, 2024).

3. Ризик-профіль надрокористувача. Значну частину ризиків генерує сам бізнес. У площині ст. ст. 239, 240 КК України слідство найчастіше зосереджується на: видобуванні без спеціального дозволу (переважно піску); видобуванні в період зупинення дії дозволу, яке надрокористувачі пояснюють обов'язком підтримувати кар'єр у безпечному стані (ст. 57 Кодексу України про надра зберігає на цей період обов'язок виконувати роботи із запобігання надзвичайній ситуації, не визначаючи їх змісту), тож межа між такими роботами і видобуванням стає предметом спору; видобуванні за межами ділянки надр, наданої спеціальним дозволом; засміченні чи забрудненні суміжних земельних ділянок відходами надрокористування; видобуванні прісних підземних вод для господарських потреб без спеціального дозволу. Кількість засуджених за ст. 239 КК України (забруднення або псування земель) зросла з 4 у 2020 р. до 43 у 2025 р., жодного не позбавлено волі (Державна судова адміністрація України, 2021–2026). Типовим наслідком є ланцюг: кримінальне провадження — нарахування збитків Держекоінспекцією або за висновком судової інженерно-екологічної експертизи — позов про їх стягнення — арешт техніки — зупинення дії спеціального дозволу з підстав ст. 57 Кодексу України про надра, що обертається багатомільйонними втратами.

У податковій площині найчастіше фігурують: а) реалізація продукції пов'язаним особам за заниженими цінами, зокрема облік товарної продукції як «гірничої маси» — ризик недоотримання рентної плати за такою схемою аналітики БЕБ оцінили понад 1,1 млрд грн (Economic Security Bureau of Ukraine, 2025); б) продаж сировини за готівку без відображення в обліку; в) дроблення бізнесу через фізичних осіб — підприємців (далі — ФОП) на спрощеній системі оподаткування; г) штучне збільшення витрат (ризикові контрагенти, списання пального); ґ) розбіжності між маркшейдерськими даними, даними дистанційного моніторингу та звітністю; д) обготівкування коштів через підконтрольних ФОП і «безтоварні» операції, що створюють видимість «ланцюга продажу» та штучно збільшують собівартість продукції. На заниження бази рентної плати держава відповіла регуляторно: з 01.01.2025 встановлено мінімальні ціни (щебінь — 6,5, пісок — 5 дол. США/т; Закон України № 4113-IX, 2024), і вже за три квартали 2025 р. задекларовані зобов'язання з рентної плати за цими позиціями зросли на 280 млн грн порівняно з 2024 р. (Бюро економічної безпеки України, 2026а). Пов'язаність суб'єктів встановлюється за сукупністю ознак: до ключових ознак «дроблення бізнесу» податкові органи відносять однакові IP-адреси для доступу до клієнт-банку та РРО, реєстрацію ФОП за однією адресою, спільні приміщення, бренд і працівників (Головне управління ДПС у Дніпропетровській області, 2026); у досудовому розслідуванні до них додаються спільні бухгалтери, склади, техніка, зберігання кваліфікованих електронних підписів в однієї особи, «єдиний центр» управління коштами та їх обготівкування. Такі ознаки виявляють аналітичні системи ще до перевірок (у 2025 р. БЕБ сформувало 1 529 аналітичних продуктів; Бюро економічної безпеки України, 2026а); збіг ознак не доводить фіктивності операцій, але стає підставою для обшуків.

4. Засоби захисту. На превентивному рівні ключовими є правовий і безпековий аудит бізнес-моделі з позиції сторони обвинувачення з її реструктуризацією; зовнішній

адвокатський супровід для реагування на «увагу» правоохоронних і контролюючих органів; робота лише з повним пакетом дозвільних документів; зберігання оригіналів документів поза місцем діяльності та доступ до облікових даних через віддалені сервери. На процесуальному рівні — участь захисника з першої слідчої дії, оскарження арештів з посиланням на ч. 4 ст. 173 КПК України і принцип пропорційності, клопотання про скасування арешту (ст. 174 КПК України), вимога повернення майна після закриття провадження, оскільки арешт тоді припиняє дію (Постанова Об'єднаної палати Касаційного кримінального суду у складі Верховного Суду у справі № 554/2506/22, 2024), апеляційне оскарження відмови слідчого судді в поверненні тимчасово вилученого майна, право на яке підтвердив Конституційний Суд України (Рішення Конституційного Суду України № 8-р(II)/2026, 2026), наполягання на наявності узгодженого податкового зобов'язання у провадженнях за ст. 212 КК України, використання механізму ч. 4 ст. 212 КК України (сплата податків і санкцій до повідомлення про підозру) замість неформальних «домовленостей».

Новизна дослідження полягає у введенні до наукового обігу відомостей ОГП за 2020–2026 рр. щодо ст. ст. 240, 240-1 КК України, їх зіставленні із судовою статистикою та в обґрунтуванні частки проваджень без процесуального результату як індикатора кримінально-процесуального ризику.

Висновки. 1. Лише 12 % кримінальних правопорушень за ст. 240 КК України завершилися направленням провадження до суду, частка правопорушень без процесуального результату зросла з 46 % до 70 %, а реально позбавлено волі лише 12 із 437 засуджених; за ст. 212 КК України засуджено 13 із 522 осіб. Це може свідчити про зміщення функції досудового розслідування від притягнення винних до відповідальності до тривалого обмеження господарської діяльності: основне обтяження для надрокористувача створює не вирок, а заходи забезпечення кримінального провадження.

2. Кримінально-процесуальний ризик не залежить від якості запасів і складно піддається оцінці, тому є самостійним чинником зниження інвестиційної привабливості мінерально-сировинної бази; досвід запровадження мінімальних цін для рентної плати свідчить, що системні порушення можливо усувати регуляторно, без масового процесуального примусу.

3. Доцільно: завершити розгляд законопроєкту № 12439 (Проєкт Закону України № 12439, 2025), передбачивши граничні строки арешту майна з обов'язковим періодичним судовим переглядом; обмежити арешт спеціального дозволу забороною його відчуження без зупинення права користування надрами; визначити законом або актом Кабінету Міністрів України перелік робіт, які надрокористувач може і зобов'язаний виконувати під час зупинення дії дозволу; уніфікувати визначення розміру шкоди за ст. 240 КК України з методикою Міндовкілля; допускати обшуки й арешти у провадженнях за ст. 212 КК України лише за наявності узгодженого податкового зобов'язання; запровадити окремий статистичний облік ОГП щодо проваджень стосовно надрокористувачів за ст. ст. 191, 212 КК України; замінити неформальні «внески» прозорим законодавчим механізмом врегулювання під судовим контролем.

Список використаних джерел:

1. Бюро економічної безпеки України. (2026a). *Звіт про діяльність Бюро економічної безпеки України за 2025 рік*. https://esbu.gov.ua/storage/app/sites/32/2026/plany-ta-zvity/esbu-2026-ua.pdf

2. Бюро економічної безпеки України. (2026b). *Проєкт змін до Кримінального, Кримінального процесуального кодексів України та Закону України «Про Бюро економічної безпеки України»* [Винесено на громадське обговорення до 04.03.2026]. https://esbu.gov.ua/storage/app/sites/32/2026/gromadske-obgovorennya/kk-kpk-zu-beb-mediaciia-po-04032026.pdf

3. Головне управління ДПС у Дніпропетровській області. (2026, 9 березня). *Про ключові ознаки «дроблення бізнесу»*. https://dp.tax.gov.ua/media-ark/news-ark/988965.html

4. Державна екологічна інспекція у Тернопільській області. (2024, 12 січня). *Набрала чинності нова методика!* https://tern.dei.gov.ua/post/238

5. Державна служба геології та надр України. (2026). *Держгеонадра: підсумки за 2025 рік* [Звіт]. https://www.geo.gov.ua/wp-content/uploads/2026/02/zvit-holovy-za-2025-rik-converted.pdf

6. Державна судова адміністрація України. (2021–2026). *Звіт про осіб, притягнутих до кримінальної відповідальності, та види кримінального покарання (форма № 6); Звіт про склад засуджених (форма № 7) за 2020–2025 роки* [Статистичні звіти]. https://court.gov.ua/inshe/sudova_statystyka/

7. Закон України № 4113-IX. (2024). *Про внесення змін до Податкового кодексу України та інших законів України*.

8. Кодекс України про надра. (1994). *Відомості Верховної Ради України*, (36), 340.

9. Кримінальний кодекс України. (2001). *Відомості Верховної Ради України*, (25–26), 131.

10. Кримінальний процесуальний кодекс України. (2012). *Відомості Верховної Ради України*, 2013, (9–13), 88.

11. Кулик, М. С., & Бишевич, Є. В. (2026). Процесуальна природа запиту за статтею 93 КПК України: проблеми встановлення строків. *Наукові записки Львівського університету бізнесу та права*, (48). https://doi.org/10.66556/2663-0117.48.kulyk-m

12. Мінфін. (2026, 20 серпня). *Компанії зі спецдозволами на надра заробили 1,5 трлн грн у 2025 році — YouControl*. https://minfin.com.ua/ua/2026/08/20/180054734/

13. Наказ Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України № 366. (2022, 15 вересня). *Про затвердження Методики визначення розмірів відшкодування збитків, заподіяних державі внаслідок самовільного користування надрами*.

14. Офіс Генерального прокурора. (2025, 17 липня). *2,5 млрд гривень шкоди державі на незаконному видобуванні піску на Житомирщині – повідомлено про підозру керівнику приватної компанії*. https://gp.gov.ua/ua/posts/25-mlrd-griven-skodi-derzavi-na-nezakonnomu-vidobuvanni-pisku-na-zitomirshhini-povidomleno-pro-pidozru-kerivniku-privatnoyi-kompaniyi

15. Офіс Генерального прокурора. (2026). *Відомості про кількість зареєстрованих кримінальних правопорушень (проваджень) за ст. ст. 240, 240-1 КК України та результати їх досудового розслідування упродовж січня–грудня 2020–2025 років, січня–серпня 2026 року* [Додаток до листа від 23.09.2026 № 30/3-1309ВИХ-26].

16. Постанова Кабінету Міністрів України № 993. (2020, 23 вересня). *Про затвердження Порядку проведення аукціону (електронних торгів) з продажу спеціального дозволу на користування надрами* (ред. від 12.03.2026).

17. Постанова Касаційного кримінального суду у складі Верховного Суду у справі № 201/9734/21. (2024, 20 листопада).

18. Постанова Об'єднаної палати Касаційного кримінального суду у складі Верховного Суду у справі № 554/2506/22 (провадження № 51-4350кмо23). (2024, 15 квітня). https://supreme.court.gov.ua/supreme/pres-centr/news/1603766/

19. Проєкт Закону України № 12439. (2025, 24 січня). *Про внесення змін до Кримінального процесуального кодексу України щодо удосконалення гарантій захисту суб'єктів господарювання під час здійснення кримінального провадження*.

20. Рішення Конституційного Суду України № 8-р(II)/2026. (2026, 21 липня). *У справі за конституційною скаргою Гудиренка Сергія Володимировича*. https://ccu.gov.ua/novyna/garantiyi-apelyaciynogo-oskarzhennya-dlya-zahystu-maynovyh-prav-na-stadiyi-dosudovogo

21. Указ Президента України № 538/2025. (2025, 21 липня). *Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 21 липня 2025 року «Про запровадження правових і організаційних заходів щодо мораторію на безпідставні перевірки та втручання державних органів у діяльність бізнесу й стимулювання економічного зростання в Україні»*.

22. Economic Security Bureau of Ukraine. (2025, March 20). *Payment of rent payments for subsoil use: ESBU analysts identify risks worth UAH 1.1 billion*. https://esbu.gov.ua/en/news/payment-of-rent-payments-for-subsoil-use-esbu-analysts-identify-risks-worth-uah-11-billion

References

Code of Ukraine on Subsoil. (1994). *Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy*, (36), 340. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/132/94-%D0%B2%D1%80 [in Ukrainian].

Criminal Code of Ukraine. (2001). *Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy*, (25–26), 131. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2341-14 [in Ukrainian].

Criminal Procedure Code of Ukraine. (2012). *Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy*, 2013, (9–13), 88. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4651-17 [in Ukrainian].

Decision of the Constitutional Court of Ukraine No. 8-r(II)/2026. (2026, July 21). *In the case on the constitutional complaint of Serhii Volodymyrovych Hudyrenko*. https://ccu.gov.ua/novyna/garantiyi-apelyaciynogo-oskarzhennya-dlya-zahystu-maynovyh-prav-na-stadiyi-dosudovogo [in Ukrainian].

Decree of the President of Ukraine No. 538/2025. (2025, July 21). *On the decision of the National Security and Defense Council of Ukraine of 21 July 2025 "On introducing legal and organisational measures for a moratorium on groundless inspections and interference of state bodies in business activities and stimulating economic growth in Ukraine"*. https://www.president.gov.ua/documents/5382025-55877 [in Ukrainian].

Draft Law of Ukraine No. 12439. (2025, January 24). *On amendments to the Criminal Procedure Code of Ukraine to improve guarantees of protection of business entities during criminal proceedings*. https://itd.rada.gov.ua/billinfo/Bills/Card/55696 [in Ukrainian].

Economic Security Bureau of Ukraine. (2025, March 20). *Payment of rent payments for subsoil use: ESBU analysts identify risks worth UAH 1.1 billion*. https://esbu.gov.ua/en/news/payment-of-rent-payments-for-subsoil-use-esbu-analysts-identify-risks-worth-uah-11-billion

Economic Security Bureau of Ukraine. (2026a). *Report on the activities of the Economic Security Bureau of Ukraine for 2025*. https://esbu.gov.ua/storage/app/sites/32/2026/plany-ta-zvity/esbu-2026-ua.pdf [in Ukrainian].

Economic Security Bureau of Ukraine. (2026b). *Draft amendments to the Criminal Code, the Criminal Procedure Code of Ukraine and the Law of Ukraine "On the Economic Security Bureau of Ukraine"* [Submitted for public consultation until 04.03.2026]. https://esbu.gov.ua/storage/app/sites/32/2026/gromadske-obgovorennya/kk-kpk-zu-beb-mediaciia-po-04032026.pdf [in Ukrainian].

Kulyk, M. S., & Byshevych, Ye. V. (2026). Procedural nature of the request under Article 93 of the Criminal Procedure Code of Ukraine: Problems of setting time limits. *Naukovi zapysky Lvivskoho universytetu biznesu ta prava*, (48). https://doi.org/10.66556/2663-0117.48.kulyk-m [in Ukrainian].

Law of Ukraine No. 4113-IX. (2024). *On amendments to the Tax Code of Ukraine and other laws of Ukraine*. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4113-20 [in Ukrainian].

Main Department of the State Tax Service in Dnipropetrovsk Region. (2026, March 9). *On the key signs of "business splitting"*. https://dp.tax.gov.ua/media-ark/news-ark/988965.html [in Ukrainian].

Minfin. (2026, August 20). *Companies with special subsoil use permits earned UAH 1.5 trillion in 2025 — YouControl*. https://minfin.com.ua/ua/2026/08/20/180054734/ [in Ukrainian].

Office of the Prosecutor General. (2025, July 17). *UAH 2.5 billion of damage to the state from illegal sand extraction in Zhytomyr region: Head of a private company notified of suspicion*. https://gp.gov.ua/ua/posts/25-mlrd-griven-skodi-derzavi-na-nezakonnomu-vidobuvanni-pisku-na-zitomirshhini-povidomleno-pro-pidozru-kerivniku-privatnoyi-kompaniyi [in Ukrainian].

Office of the Prosecutor General. (2026). *Information on the number of registered criminal*

offences (proceedings) under Articles 240 and 240-1 of the Criminal Code of Ukraine and the results of their pre-trial investigation in January–December 2020–2025 and January–August 2026 [Annex to letter No. 30/3-1309VYKh-26 of 23.09.2026] [in Ukrainian].

Order of the Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine No. 366. (2022, September 15). *On approval of the Methodology for determining the amount of compensation for damage caused to the state as a result of unauthorised subsoil use*. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1337-22 [in Ukrainian].

Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 993. (2020, September 23). *On approval of the Procedure for holding an auction (electronic trading) for the sale of a special permit for subsoil use* (as amended on 12.03.2026). https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/993-2020-%D0%BF [in Ukrainian].

Resolution of the Criminal Cassation Court of the Supreme Court in case No. 201/9734/21. (2024, November 20). *Unified State Register of Court Decisions*. https://reyestr.court.gov.ua [in Ukrainian].

Resolution of the Joint Chamber of the Criminal Cassation Court of the Supreme Court in case No. 554/2506/22 (proceedings No. 51-4350kmo23). (2024, April 15). https://supreme.court.gov.ua/supreme/pres-centr/news/1603766/ [in Ukrainian].

State Environmental Inspectorate in Ternopil Region. (2024, January 12). *New methodology has entered into force!* https://tern.dei.gov.ua/post/238 [in Ukrainian].

State Judicial Administration of Ukraine. (2021–2026). *Report on persons brought to criminal liability and types of criminal punishment (Form No. 6); Report on the composition of convicted persons (Form No. 7) for 2020–2025* [Statistical reports]. https://court.gov.ua/inshe/sudova_statystyka/ [in Ukrainian].

State Service of Geology and Subsoil of Ukraine. (2026). *Derzhheonadra: Results of 2025* [Report]. https://www.geo.gov.ua/wp-content/uploads/2026/02/zvit-holovy-za-2025-rik-converted.pdf [in Ukrainian].

УДК 004.65:553.04:622.276

РОЗКРИТТЯ ПОТЕНЦІАЛУ НАДР ТА ІНВЕСТИЦІЙ ЗАВДЯКИ ЗАХИЩЕНІЙ, ЄДИНІЙ ТА ШІ-ОРІЄНТОВАНІЙ ЕКОСИСТЕМІ ДАНИХ

Петрокушин Р.Є.*[1]*, доктор філософії, RPetrokushyn@slb.com;
Саломіа Г.*[2]*, GSalomia@slb.com;
1 – SLB, Київ, Україна,
2 – SLB, Bucharest, Romania

Дані про надра, накопичені десятиліттями геологорозвідки, зазвичай розпорошені між організаціями, форматами й паперовими фондами: за оцінками Gartner (2023) до 80% корпоративних даних є неструктурованими, а за прогнозом IDC (2021–2025) їхній обсяг зростає на 60% щорічно. У доповіді представлено архітектуру Національного сховища даних (NDR) із трьох компонентів: (1) єдине сховище даних нафтогазової та гірничодобувної галузей з рольовим доступом; (2) вбудована віртуальна кімната даних (VDR) для інвесторів із контрольованим доступом і аудитом; (3) ШІ-аналіз архівних, зокрема рукописних кириличних, звітів. На прикладах SLB (Egypt Upstream Gateway, VDR- та GenAI-пілоти) і власного дисертаційного досвіду автора – інтеграції гравіметрії, магнітометрії, сейсміки, сканованих карт, каротажу та геотермальних даних у єдиній моделі Petrel – показано, як такий підхід скорочує підготовку даних, знижує невизначеність розвідки та підвищує інвестиційну привабливість надрокористування.

Ключові слова: національне сховище даних, віртуальна кімната даних, штучний інтелект, архівні геологічні дані, нафтогазова та гірничодобувна галузі, надрокористування.

UNLOCKING SUBSURFACE RESOURCE POTENTIAL AND INVESTMENT THROUGH A SECURE, UNIFIED AND AI-POWERED DATA ECOSYSTEM

Petrokushyn R.*[1]*, PhD, RPetrokushyn@slb.com;
Salomia G.*[2]*, GSalomia@slb.com;
1 – SLB, Київ, Україна,
2 – SLB, Bucharest, Romania

National subsurface data is typically scattered across organizations, formats and paper archives: Gartner (2023) estimates 80% of enterprise data is unstructured, and IDC (2021–2025) forecasts 60% annual growth in such data. This paper presents a National Data Repository (NDR) architecture built on three components: (1) a single repository for oil-and-gas and mining data with role-based access; (2) a built-in Virtual Data Room (VDR) for investors with controlled access and audit trail; (3) AI mining of legacy reports, including handwritten Cyrillic documents. Drawing on SLB's experience (Egypt Upstream Gateway, VDR and GenAI pilots) and the author's own PhD work – integrating gravity, magnetics, seismic, digitized maps, well logs and geothermal data in one Petrel model – the paper shows how this approach shortens data preparation, reduces exploration uncertainty and improves investment attractiveness of subsurface resources.

Keywords: national data repository, virtual data room, artificial intelligence, legacy geological data, oil and gas and mining industries, subsurface resource management.

Вступ. Енергетичний перехід і зростання вимог до прозорості даних змушують геологічні служби переосмислювати роботу з інформацією про надра – як нафтогазовою, так і гірничодобувною. Типова ситуація: сейсмічні зйомки різних поколінь, каротаж свердловин, керн, геохімія, видобувні дані та тисячі паперових і сканованих звітів розпорошені між відомствами й форматами. Це уповільнює розвідувальні рішення, спричиняє дублювання досліджень і ускладнює інвесторам оцінку можливостей. Метою роботи є опис архітектури Національного сховища даних (NDR) із трьох компонентів – єдиного сховища даних, захищеної віртуальної кімнати даних (VDR) для інвесторів і модуля ШІ-аналізу архівних матеріалів – на основі практичних кейсів SLB та особистого дисертаційного досвіду автора.

1. Єдине сховище даних про надра

Основою NDR є середовище, що об'єднує дані upstream-, midstream- і downstream-сегментів: сейсміку (SEG-Y, UKOOA), каротаж (LAS, DLIS), траєкторії й буріння, геопросторові дані (SHP), а також типові гірничодобувні дані – проби порід і флюїдів, мінералогію, геохімію. Відкриті стандарти обміну даними забезпечують уніфіковані метадані, автоматизований контроль якості й рольовий доступ для нафтогазових

операторів, гірничодобувних компаній, наукових установ і регулятора незалежно від галузевого походження даних, а також розгортання на власній інфраструктурі, у хмарі чи гібридно, з прямим підключенням до такого ПЗ як Petrel, Techlog (рис. 1).

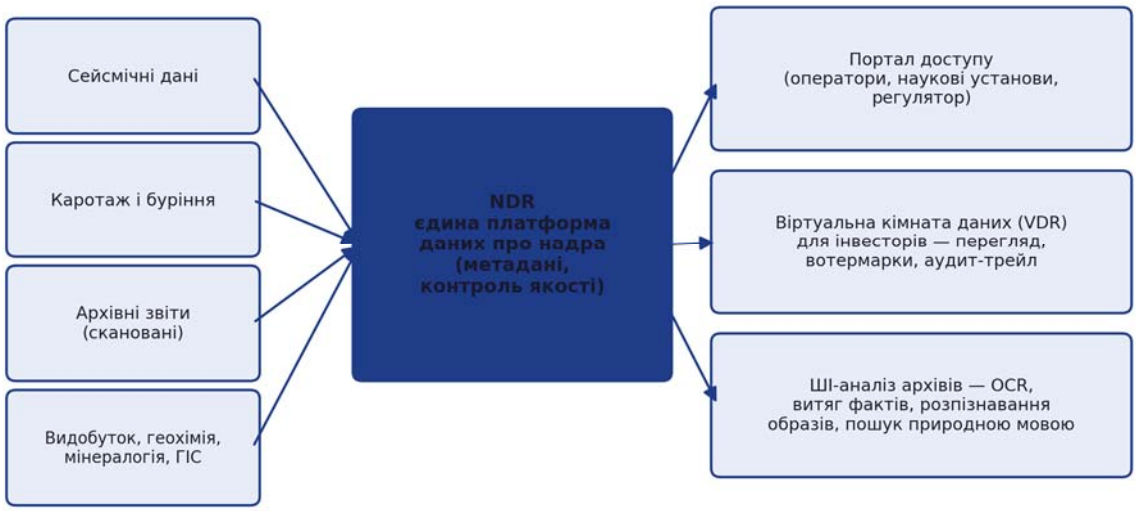


Рис. 1. Узагальнена архітектура NDR

Принцип «усі дані в одному вікні» автор перевірив у власному дисертаційному дослідженні геотермального потенціалу Передкарпатського прогину: в єдиному проєкті Petrel поєднано гравіметрію (редукція Буге, 1:200 000), аномальне магнітне поле (1:200 000), 2D сейсмічні профілі, оцифровані скановані карти попередніх досліджень (модель розломів за Заяць, 2013, приведена в глибину й накладена на власний розріз), каротажні криві та випробування свердловин, а також геотермальні дані – виміри температури й тепловий потік у 250 свердловинах. Інтеграція цих різнорідних джерел методом піксельної багатокритеріальної оцінки (Chance of Success) дала цілісну, верифіковану модель – той самий принцип, який NDR масштабує на рівень країни.

2. Віртуальна кімната даних для інвесторів

Вбудована VDR перетворює NDR на канал залучення інвестицій: кожен ліцензійний блок чи родовище пакується в окрему кімнату даних із визначеним набором матеріалів. Технічно (на прикладі IVAAP) це розміщення в керованому дата-центрі, заборона завантаження/вивантаження даних, відсутність взаємної видимості між клієнтами, водяні знаки, цілодобовий доступ і повний журнал аудиту – інвестор здійснює скринінг активу без ризику витоку, а регулятор зберігає повний контроль. Практика підтверджує ефект: подібна платформа для національної нафтогазової компанії залучила понад 15 інвестиційних компаній через сесії VDR, а заміна статичного SharePoint-рішення на єдину платформу звітності й візуалізації підвищила операційну ефективність організації на 30%.

3. ШІ-аналіз архівних (legacy) даних

Значна частка накопичених даних існує лише у вигляді паперових чи сканованих звітів і випадає з аналітичного обігу. NDR передбачає OCR і мовні моделі для вилучення структурованих фактів (результати випробувань, запаси, координати) з геоприв'язкою сканованих карт і пошуком природною мовою. Автор застосував подібний підхід у дисертації: ШІ-модель (U-Net) для покращення архівних 2D сейсмічних профілів 1970–1990-х рр. дала змогу виявити 10 нових регіональних та 25 локальних розломів.

Показовим є пілот SLB із вилучення даних із рукописних кириличних актів завершення свердловин радянського періоду. Класичні OCR-рушії (Tesseract, EasyOCR-RU) на таких сканах давали здебільшого нечитабельний текст, непридатний без суттєвого ручного редагування. Натомість GPT-4 Vision із кастомним промтом (мова документа, доменний контекст, формат JSON) коректно розпізнав ключові поля – дати буріння й

випробувань, глибини, конструкцію свердловини – і повернув структурований результат, готовий до завантаження в .xls/.csv; модель також самостійно позначала змістові невідповідності у документі, виконуючи функцію додаткового контролю якості (табл. 1).

Таблиця 1

Результати впровадження компонентів NDR у практиці SLB

Компонент	Приклад	Результат
Єдине сховище + VDR	Egypt Upstream Gateway (SLB)	Онлайн-доступ, інтерактивні карти, бід-раунди
VDR	Скринінг активів для інвесторів (кейс HOK)	15+ інвестиційних компаній залучено
ШІ-аналіз архівів	GPT-4 Vision vs Tesseract/EasyOCR на рукописних кириличних звітах	Структурований JSON → .xls/.csv замість нечитабельного тексту
Інтеграція даних	Дисертаційна модель геотермального потенціалу (Petrel)	Гравіметрія, магнітометрія, сейсміка, каротаж і геотермальні дані – в одній моделі

Висновки. Поєднання єдиного сховища даних, захищеної VDR та модуля ШІ-аналізу архівів перетворює NDR із облікового інструменту на стратегічний актив: централізоване зберігання скорочує пошук і підготовку даних, VDR дає змогу показувати активи інвесторам без втрати контролю, а ШІ (включно з GenAI для рукописних кириличних матеріалів) повертає в обіг десятиліття невикористовуваної інформації. Це підтверджено промисловими кейсами SLB і особистим досвідом автора – від ШІ-обробки архівної сейсміки до інтеграції гравіметрії, магнітометрії, каротажу й геотермальних даних в єдиній моделі Petrel. Подальші дослідження варто спрямувати на кількісну оцінку економічного ефекту таких платформ для конкретних надрокористувачів і регуляторів.

Подяки.

Автор дякує колегам із напряму Digital компанії SLB за надані матеріали та технічну підтримку

Список використаних джерел:

1. Egyptian Ministry of Petroleum and Schlumberger Announce Launch of the Egypt Upstream Gateway. SLB Newsroom, 17.02.2021. URL: https://www.slb.com/newsroom/press-release/2021/pr-2021-0217-eug

2. Петрокушин Р.Є. Оцінка перспективності геотермального потенціалу Передкарпатського прогину на основі комплексної інтерпретації даних хвильових і потенціальних полів: дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 103 «Науки про Землю». Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, 2026.

3. Заяць І. С. Геологічна будова та нафтогазоносність автохтонних відкладів олігоцену північно-західної частини Більче-Волицької зони Передкарпатського прогину: автореф. дис. ... канд. геол. наук. Львів, 2013.

4. Gartner. Unstructured Data Utilization, 2023.

5. IDC. Worldwide Global DataSphere Forecast, 2021–2025.

6. OpenAI. GPT-4 Technical Report, 2023. URL: https://openai.com/research/gpt-4

УДК 553.04

ДЕРЖАВНА ЕКСПЕРТИЗА ТА ОЦІНКА ЗАПАСІВ КОРИСНИХ КОПАЛИН ЯК ІНСТРУМЕНТ ЗНИЖЕННЯ ГЕОЛОГІЧНИХ ТА ІНВЕСТИЦІЙНИХ РИЗИКІВ

Нецький О.В., *ORCID ID 0000-0002-7451-8924, gidronerud@dkz.gov.ua;*
Паюк С.О., *ORCID ID 0000-0003-0592-4758, golova@dkz.gov.ua;*
Лагода О.А., *ORCID ID 0009-0002-2872-6885, lawyer@dkz.gov.ua*
Державна комісія України по запасах корисних копалин, Київ, Україна

Державна експертиза та оцінка запасів корисних копалин розглядаються як механізм перевірки достатності, достовірності та взаємної узгодженості геологічної, технологічної, гірничотехнічної й економічної інформації, що використовується для встановлення промислового значення родовища. На основі нормативних вимог України, опублікованих матеріалів ДКЗ, вітчизняних наукових досліджень та міжнародних підходів UNFC і CRIRSCO систематизовано типові групи недоліків і невизначеностей, які можуть впливати на результати ГЕО та рішення щодо освоєння родовища. Обґрунтовано доцільність ризик-орієнтованого ранжування, посилення простежуваності ключових показників, перевірки взаємоузгодженості геологічної, технологічної та економічної складових, оцінки впливу невизначеності й фіксації її залишкового рівня. Запропоновані напрями не підмінюють чинну процедуру державної експертизи, а розвивають її нормативно визначені завдання з урахуванням окремих методичних принципів UNFC і CRIRSCO/JORC.

Ключові слова: державна експертиза, запаси корисних копалин, геолого-економічна оцінка, інвестиційний ризик, невизначеність, простежуваність даних.

STATE EXPERT APPRAISAL AND ASSESSMENT OF MINERAL RESERVES AS A MITIGATION TOOL FOR GEOLOGICAL AND INVESTMENT RISKS

Netskyi O., *ORCID ID 0000-0002-7451-8924, gidronerud@dkz.gov.ua;*
Paiuk S., *ORCID ID 0000-0003-0592-4758, golova@dkz.gov.ua;*
Lahoda O., *ORCID ID 0009-0002-2872-6885, lawyer@dkz.gov.ua*
State Commission of Ukraine on Mineral Resources, Kyiv, Ukraine

State expert appraisal and assessment of mineral reserves are regarded as mechanisms for verifying the sufficiency, reliability, and mutual consistency of geological, technological, mining, and economic data used to determine a deposit's commercial significance. Following Ukrainian regulatory requirements, the State Commission of Ukraine on Mineral Resources' (SCMR) published materials, national scientific research, and UNFC and CRIRSCO international approaches, typical groups of shortcomings and uncertainties that may affect geological and economic assessment results and decisions on deposit development have been systematised. The feasibility of risk-based ranking, enhanced traceability of key indicators, verification of consistency of geological, technological, and economic components, assessment of the uncertainty impact, and recording of its residual level has been substantiated. Suggested approaches do not replace the existing state expert appraisal procedure but rather build upon its regulatory objectives, considering specific methodological UNFC and CRIRSCO/JORC principles.

Keywords: state expert appraisal, mineral reserves, geological and economic assessment, investment risk, uncertainty, data traceability.

Вступ. Інвестиційна привабливість об'єкта надрокористування залежить не лише від кількості оцінених запасів (ресурсів), а й від достовірності та достатності інформації, що обґрунтовує геологічні, технологічні, гірничотехнічні й економічні рішення. Тому державна експертиза та оцінка запасів корисних копалин (далі – державна експертиза), виконуючи законодавчо визначені завдання щодо оцінки їх достовірності та промислового значення, водночас знижує інформаційну невизначеність рішень щодо освоєння родовища.

Положення про порядок проведення державної експертизи та оцінки запасів корисних копалин, затверджене постановою Кабінету Міністрів України від 22.12.1994 № 865 (далі – Положення № 865), визначає метою державної експертизи об'єктивну оцінку мінерально-сировинної бази, забезпечення достовірності запасів, раціонального й комплексного використання надр та визначення реальної промислової цінності родовищ (Кабінет Міністрів України, 1994). Класифікація запасів і ресурсів корисних копалин державного фонду надр, затверджена постановою Кабінету Міністрів України від

05.05.1997 № 432 (далі – Положення № 432), з урахуванням змін 2025 року, пов'язує геолого-економічну оцінку (далі – ГЕО) з геопросторовими даними, технологічними схемами, техніко-економічними показниками та очікуваною економічною вигодою (Кабінет Міністрів України, 1997; 2025).

У вітчизняних дослідженнях ГЕО розглядається як інформаційна основа управління мінеральними ресурсами на різних стадіях геологічного і техніко-економічного вивчення (Литвинюк & Паюк, 2023), а її актуалізація пов'язується зі змінами технологічних та економічних умов освоєння (Рудько та ін., 2021; Лисенко, 2017).

Логіку державної експертизи можна подати як ланцюг: первинні дані – геологічна модель – оцінка запасів – технологічні й гірничотехнічні рішення – економічна модель – висновок щодо промислового значення. Невизначеність попередніх ланок може впливати на наступні. Водночас високий ступінь геологічного вивчення сам по собі не визначає найвищого класу запасів, оскільки класифікація залежить від сукупності економічних, технічних
і геологічних критеріїв.

Мета дослідження – обґрунтувати методичні підходи до зниження інформаційної невизначеності державної експертизи через оцінку надійності джерел даних, простежуваності ключових показників, взаємоузгодженості складових ГЕО та впливу невизначеностей на її результати.

Методи дослідження. Проаналізовано нормативно-правові акти України, науково-методичні публікації з ГЕО і державної експертизи та міжнародні підходи Рамкової класифікації ресурсів ООН (UNFC) і стандарти Міжнародного комітету стандартів звітності про запаси корисних копалин/ Австралазійського кодексу звітності про результати геологорозвідувальних робіт, ресурси і запаси корисних копалин (CRIRSCO/JORC). Останні використано не як заміну Класифікації, а як джерело принципів щодо невизначеності, прозорості, суттєвості й компетентності (UNECE, 2020; CRIRSCO, 2019; JORC, 2012). Враховано сучасні українські дослідження розвитку ГЕО та застосування класифікаційних систем (Литвинюк & Паюк, 2023, 2024; Литвинюк та ін., 2023, 2026).

Міжнародні підходи доцільно адаптувати лише в частині, сумісній із завданнями державної експертизи. У цій роботі такими елементами є простежуваність даних і розрахунків, підтвердження компетентності джерел, взаємоузгодженість складових ГЕО та відображення суттєвих невизначеностей. Актуальність адаптації, а не механічного перенесення міжнародних систем, підтримується українськими дослідженнями UNFC – Системи управління ресурсами Організації Об'єднаних Націй (UNRMS; Литвинюк та ін., 2026).

Виклад основного матеріалу.

За результатами аналізу виділено сім системних груп недоліків матеріалів ГЕО.

1. Невідповідність між ступенем вивченості та точністю кінцевої оцінки. Оцінена кількість ресурсів пов'язана з невизначеністю, яку UNFC відображає через рівні довіри або low, best і high estimates (UNECE, 2020). Тому числова деталізація має відповідати достовірності вихідних даних і ступеню вивченості, а не створювати враження більшої точності. Одночасне врахування критеріїв E, F і G також не дає підстав ототожнювати високу геологічну вивченість із найвищим класом запасів (Литвинюк & Паюк, 2024).

2. Внутрішня неузгодженість матеріалів ГЕО. Розбіжності в матеріалах ГЕО між текстом, таблицями, графікою, розрахунками, контурами, якісними показниками, видобутком і обліком запасів можуть впливати на оцінку запасів; тому необхідно встановлювати їх причини та вплив на кінцевий результат.

3. Недостатня простежуваність розрахунків. Для ключових показників має відтворюватися ланцюг "джерело – обробка – прийнятий параметр – розрахунок – результат". Перевірка лише кінцевої арифметики без вихідних даних і припущень не підтверджує обґрунтованість показника (Кабінет Міністрів України, 1994).

4. Недостатня підтвердженість компетентності джерел вихідних даних. Надійність результатів доцільно оцінювати з урахуванням компетентності виконавців у відповідному виді робіт, застосованих методик, QA/QC і простежуваності відповідальності. Це співзвучно принципу Competence CRIRSCO, але не передбачає запровадження нового правового статусу виконавців (CRIRSCO, 2019).

5. Розрив між геологічною, технологічною та економічною частинами. ГЕО є інтегрованою оцінкою: економічна модель має ґрунтуватися на запасах, які реально можуть бути вилучені за прийнятими гірничими й технологічними рішеннями, з урахуванням втрат, розубоження, продуктивності та календарного плану (Кабінет Міністрів України, 1997; CRIRSCO, 2019; JORC, 2012). На практичному прикладі показано, що зміна гірничотехнічних умов і якості руди може змінювати промислове значення запасів (Литвинюк & Курило, 2024).

6. Актуальність вихідної інформації та її підтвердження результатами експлуатації. Давність даних сама по собі не визначає їх непридатності: оцінювати слід збереження достовірності, репрезентативності та придатності конкретного параметра для сучасних рішень.

Для родовищ, що розробляються, зіставлення раніше прийнятих параметрів із фактичними результатами експлуатації є важливим засобом їх перевірки. Вітчизняні дослідження підтверджують використання такого зіставлення для уточнення запасів і коригування ГЕО (Ловинюков та ін., 2019; Рудько та ін., 2021). Водночас розбіжність не є автоматичним доказом помилковості попередньої ГЕО: необхідно встановити її причину та вплив на можливість подальшого використання параметра.

7. Формальне усунення зауваження без зменшення невизначеності. За Положенням № 865 недостатність матеріалів ГЕО для достовірної оцінки є підставою для їх повернення (Кабінет Міністрів України, 1994). Тому доопрацювання має оцінюватися за тим, чи усунуто дефіцит даних, обґрунтовано припущення або чітко визначено характер і можливий вплив невизначеності.

У межах цього дослідження невизначеність означає неповноту визначеності параметра або результату, зумовлену обмеженістю чи точністю вихідних даних і прийнятими модельними припущеннями. Вона сама по собі не свідчить про помилку. Суттєвість характеризує здатність зміни параметра або пов'язаної з ним невизначеності вплинути на результати ГЕО та висновок щодо промислового значення родовища. Отже, невизначеність характеризує ступінь визначеності параметра, а суттєвість — значущість його можливого впливу на кінцевий результат.

Напрями вдосконалення методичних підходів до проведення державної експертизи. Перший напрям – ризик-орієнтоване ранжування недоліків і невизначеностей. Принцип Materiality CRIRSCO може бути адаптований не як юридичний критерій, а для пріоритизації експертної уваги до питань, здатних змінити запаси, їх класифікацію, технологічну можливість вилучення, витрати або промислове значення (CRIRSCO, 2019). Дослідження Вижви та ін. (2023) підтверджує суттєвість екологічних і соціальних чинників для реалізації проєктів надрокористування. Запропоноване в цій роботі ранжування експертних зауважень має іншу методичну спрямованість — визначення пріоритетності експертної уваги залежно від можливого впливу виявлених недоліків і невизначеностей на результати ГЕО.

Другий напрям – простежуваність і відтворюваність ключових показників. Для кожного суттєвого параметра доцільно фіксувати джерело, дату, метод отримання, спосіб обробки, місце використання та вплив на результат. Це узгоджується з Transparency (прозорість) CRIRSCO та підходом JORC "if not, why not" ("якщо ні, чому ні") (CRIRSCO, 2019; JORC, 2012).

Третій напрям – оцінка впливу невизначеності на результати ГЕО. Поваріантні розрахунки вже передбачені для обґрунтування окремих параметрів кондицій і технічних рішень (ДКЗ, 2005; Лисенко, 2017). Запропоновано додатково використовувати їх для

виявлення параметрів, зміна яких у межах обґрунтованого діапазону суттєво змінює результат ГЕО. Це дає змогу зосередити експертну перевірку на достовірності саме таких параметрів.

Для економічної частини можуть зіставлятися обґрунтовані варіанти ціни, продуктивності, виходу товарної продукції, вилучення, капітальних та експлуатаційних витрат. Мета – не збільшення кількості сценаріїв, а визначення чутливості кінцевого результату.

Четвертий напрям – наскрізна узгодженість складових ГЕО. Запаси в економічній моделі матеріалів ГЕО мають відповідати контурам і класифікації; виробнича програма – технічно обґрунтованій продуктивності; товарна продукція – технологічним показникам; витрати
– прийнятим гірничим, технологічним та інфраструктурним рішенням. Це узгоджується з логікою Modifying Factors (модифікуючі фактори) CRIRSCO/JORC та розглядом класифікаційних систем як інструменту управління проєктами (CRIRSCO, 2019; JORC, 2012; Литвинюк та ін., 2023).

Необхідність такої наскрізної перевірки узгоджується з підходом Курило та ін. (2024), які розглядають геологічні, технологічні, екологічні та соціально-економічні складові проєкту надрокористування як взаємопов'язані елементи ГЕО.

П’ятий напрям – оцінка актуальності історичних даних за їх придатністю для рішення. Для ключових груп даних доцільно визначати, що підтверджено сучасними роботами, може використовуватися без переінтерпретації, потребує перевірки або втратило репрезентативність. Це дає змогу не дискваліфікувати історичні матеріали формально, а адресно спрямовувати додаткові дослідження.

Шостий напрям – фіксація залишкової невизначеності. Доцільно відокремлювати підтверджені характеристики від модельних припущень і невирішених питань, а для суттєвих параметрів зазначати можливий вплив їх зміни на результат.

Практичну реалізацію запропонованого підходу доцільно здійснювати поетапно: спочатку шляхом застосування уніфікованого експертного чек-листа, далі — стандартизації розрахункових і геопросторових даних та впровадження автоматизованих перевірок, а за результатами практичного застосування — за потреби закріплення окремих положень у методичних рекомендаціях або нормативних вимогах. Уніфікованим доцільно залишити базовий перелік елементів експертної перевірки — джерело даних, їх простежуваність і підтвердженість, невизначеність та її вплив на результат, — а спеціалізовані критерії диференціювати залежно від виду корисної копалини. Доцільність такого диференційованого підходу узгоджується з дослідженням Михайлова та ін. (2021), у якому склад критеріїв ранжування об'єктів визначався з урахуванням виду мінеральної сировини.

Водночас наведені напрями не змінюють установлених законодавством засад державної експертизи та не підміняють комплексний інвестиційний аудит. Результати державної експертизи можуть бути важливою інформаційною складовою такого аудиту, оскільки підтверджують достовірність інформації, що використовується для оцінки проєкту надрокористування. Практичне призначення запропонованих напрямів — підвищення прозорості й відтворюваності експертного аналізу та концентрація уваги на параметрах, невизначеність яких може суттєво вплинути на результати ГЕО і висновок щодо промислового значення родовища.

Інвестиційне значення державної експертизи.

Державна експертиза має іншу правову природу, ніж публічна звітність CRIRSCO, однак її нормативна мета – забезпечення достовірності запасів і визначення реальної промислової цінності – робить її результати важливим джерелом верифікованої інформації для рішень щодо освоєння родовища (ДКЗ, 2017; CRIRSCO, 2019).

Актуалізація ГЕО дає змогу оновлювати техніко-економічні та фінансові показники, зміна яких може впливати на кондиції, запаси та рентабельність видобування (Рудько та ін., 2021).

Отже, інвестиційну цінність підвищує не формальне підтвердження підсумкового числа, а доказовий зв'язок між даними та рішенням: розмежування безпосередньо підтверджених параметрів, модельних результатів і технологічних припущень та оцінка їх впливу на економічний результат.

Висновки.

1. Чинна нормативна модель державної експертизи створює основу для аналізу достовірності, достатності матеріалів і промислового значення запасів; запропоновані підходи розвивають цю логіку без зміни її мети.

2. Невизначеність не слід ототожнювати з помилкою. Першочерговій експертній перевірці мають підлягати параметри, що характеризуються значною невизначеністю та водночас можуть суттєво впливати на результати ГЕО і висновок щодо промислового значення родовища.

3. Обґрунтовано шість взаємопов'язаних напрямів: ранжування за суттєвістю; простежуваність; використання поваріантних розрахунків для оцінки впливу невизначеності; наскрізна узгодженість складових ГЕО; диференційована оцінка історичних даних; фіксація залишкової невизначеності. Вони мають застосовуватися в межах української нормативної системи.

4. Практичне впровадження запропонованого підходу доцільно починати з експертних чек-листів і стандартизації даних, а його методичне чи нормативне закріплення розглядати за результатами практичного застосування. Очікуваним результатом є підвищення відтворюваності, прозорості та інформаційної цінності державної експертизи, а не усунення об'єктивної невизначеності ГЕО чи гарантування результатів реалізації проєкту надрокористування.

Список використаних джерел:

Вижва, С. А., Курило, М. М., Паюк, С. О., & Ткаченко, Ю. В. (2023). Екологічні та соціальні ризики в міжнародних та вітчизняних системах оцінки мінеральних ресурсів. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 2(101), 51–56. https://doi.org/10.17721/1728-2713.101.07.

Державна комісія України по запасах корисних копалин. (2005). Про затвердження Положення про порядок розробки та обґрунтування кондицій на мінеральну сировину для підрахунку запасів твердих корисних копалин у надрах (Наказ № 300). https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0065-06.

Державна комісія України по запасах корисних копалин. (2017, 26 липня). Міжнародна діяльність ДКЗ. https://www.dkz.gov.ua/ua/119-mizhnarodna-diyalnist-dkz.

Державна комісія України по запасах корисних копалин. (2021). Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування: Матеріали Сьомої міжнародної науково-практичної конференції (Т. 1). https://www.dkz.gov.ua/files/2021_materials_vol_1_net.pdf.

Кабінет Міністрів України. (1994). Про затвердження Положення про порядок проведення державної експертизи та оцінки запасів корисних копалин (Постанова № 865). https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/865-94-%D0%BF.

Кабінет Міністрів України. (1997). Про затвердження Класифікації запасів і ресурсів корисних копалин державного фонду надр (Постанова № 432). https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/432-97-%D0%BF.

Кабінет Міністрів України. (2025). Про внесення змін до Класифікації запасів і ресурсів корисних копалин державного фонду надр (Постанова № 1197). https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1197-2025-%D0%BF.

Курило, М. М., Паюк, С. О., & Литвинюк, С. Ф. (2024). Практика оцінки проектів надрокористування в міжнародних класифікаційних системах. У Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування: Матеріали Дев’ятої міжнародної науково-практичної конференції (с. 144–148). ДКЗ. https://conf2024.dkz.gov.ua/files/2024_materials_net.pdf.

Лисенко, О. А. (2017). Геолого-економічна оцінка корисних копалин (актуальні питання й методичні аспекти). *Мінеральні ресурси України*, (3), 22–26. https://mru-journal.com.ua/index.php/mru/article/view/216.

Литвинюк, С. Ф., & Курило, М. М. (2024). Обґрунтування параметрів кондицій для підрахунку запасів залізорудних родовищ з метою оптимізації систем розробки. *Мінеральні ресурси України*, (2), 16–20. https://doi.org/10.31996/mru.2024.2.16-20.

Литвинюк, С. Ф., & Паюк, С. О. (2023). Правові та методичні аспекти геолого-економічної оцінки запасів і ресурсів корисних копалин в Україні: стан та перспективи. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 4(103), 83–89. https://doi.org/10.17721/1728-2713.103.10.

Литвинюк, С. Ф., & Паюк, С. О. (2024). Застосування критеріїв Рамкової класифікації ресурсів ООН під час оцінки, обліку та управління мінеральними ресурсами України. *Мінеральні ресурси України*, (1), 28–34. https://doi.org/10.31996/mru.2024.1.28-34.

Литвинюк, С. Ф., Курило, М. М., & Бурлуцький, М. С. (2026). Implementing the UNFC and UNRMS criteria in the sphere of subsoil use of Ukraine. *Мінеральні ресурси України*, (2), 60–67. https://doi.org/10.31996/mru.2026.2.60-67.

Литвинюк, С. Ф., Курило, М. М., Віршило, І. С., & Братах, М. І. (2023). Базові ознаки класифікаційних систем як інструмент управління та інвестиційного аналізу проєктів надрокористування. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія, 3(102), 60–68. https://doi.org/10.17721/1728-2713.102.08.

Ловинюков, В. І., Лисенко, О. А., & Литвинюк, С. Ф. (2019). Оцінка достовірності розвіданих запасів корисних копалин за даними розробки родовищ. *Збірник наукових праць УкрДГРІ*, (1–2), 76–84. https://www.geo.gov.ua/wp-content/uploads/2020/02/Sbornik_1-2_2019.pdf.

Михайлов, В. А., Курило, М. М., & Кошарна, С. В. (2021). Геолого-промислова оцінка та ранжування перспективних об’єктів вітчизняної бази рідкісноземельних елементів. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 2(93), 32–40. https://doi.org/10.17721/1728-2713.93.04.

Рудько, Г. І. (Ред.). (2013). *Геолого-економічна та вартісна оцінка родовищ корисних копалин як показник ефективності інвестиційних проектів.* Букрек. https://www.dkz.gov.ua/ua/diyalnist/publikatsiji/45-geologo-ekonomichna-ta-vartisna-otsinka-rodovishch-korisnikh-kopalin-yak-pokaznik-efektivnosti-investitsijnikh-proektiv.

Рудько, Г. І., Нецький, О. В., & Литвинюк, С. Ф. (2021). Науково-методичні і нормативні чинники актуалізації результатів геолого-економічних оцінок родовищ корисних копалин. *Мінеральні ресурси України*, (4), 36–40. https://doi.org/10.31996/mru.2021.4.36-40.

Committee for Mineral Reserves International Reporting Standards. (2019). *International reporting template for the public reporting of exploration targets, exploration results, mineral resources and mineral reserves.* https://crirsco.com/documentation/itr/.

Joint Ore Reserves Committee. (2012). *Australasian code for reporting of exploration results, mineral resources and ore reserves* (The JORC Code, 2012 edition). https://jorc.org/library/.

United Nations Economic Commission for Europe. (2020). *United Nations Framework Classification for Resources: Update 2019* (ECE Energy Series No. 61). United Nations. https://unece.org/sustainable-energy/publications/united-nations-framework-classification-resources-update-2019-ece.

References

Cabinet of Ministers of Ukraine. (1994). Pro zatverdzhennia Polozhennia pro poriadok provedennia derzhavnoi ekspertyzy ta otsinky zapasiv korysnykh kopalyn [On approval of the Regulation on the procedure for state examination and assessment of mineral reserves] (Resolution No. 865). https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/865-94-%D0%BF [in Ukrainian].

Cabinet of Ministers of Ukraine. (1997). Pro zatverdzhennia Klasyfikatsii zapasiv i resursiv korysnykh kopalyn derzhavnoho fondu nadr [On approval of the Classification of mineral reserves and resources of the State Subsoil Fund] (Resolution No. 432). https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/432-97-%D0%BF [in Ukrainian].

Cabinet of Ministers of Ukraine. (2025). Pro vnesennia zmin do Klasyfikatsii zapasiv i resursiv korysnykh kopalyn derzhavnoho fondu nadr [On amendments to the Classification of mineral reserves and resources of the State Subsoil Fund] (Resolution No. 1197). https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1197-2025-%D0%BF [in Ukrainian].

Committee for Mineral Reserves International Reporting Standards. (2019). *International reporting template for the public reporting of exploration targets, exploration results, mineral resources and mineral reserves.* https://crirsco.com/documentation/itr/.

Derzhavna komisiia Ukrainy po zapasakh korysnykh kopalyn. (2005). Pro zatverdzhennia Polozhennia pro poriadok rozrobky ta obgruntuvannia kondytsii na mineralnu syrovynu dlia pidrakhunku zapasiv tverdykh korysnykh kopalyn u nadrakh [On approval of the Regulation on the procedure for developing and substantiating conditions for mineral raw materials for calculating reserves of solid minerals in the subsoil] (Order No. 300). https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0065-06 [in Ukrainian].

Derzhavna komisiia Ukrainy po zapasakh korysnykh kopalyn. (2017, July 26). Mizhnarodna diialnist DKZ [International activities of the State Commission of Ukraine on Mineral Resources]. https://www.dkz.gov.ua/ua/119-mizhnarodna-diyalnist-dkz [in Ukrainian].

Derzhavna komisiia Ukrainy po zapasakh korysnykh kopalyn. (2021). Nadrokorystuvannia v Ukraini. Perspektyvy investuvannia: Materialy Somoi mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii [Subsoil use in Ukraine. Investment prospects: Proceedings of the Seventh International Scientific and Practical Conference] (Vol. 1). https://www.dkz.gov.ua/files/2021_materials_vol_1_net.pdf [in Ukrainian].

Joint Ore Reserves Committee. (2012). *Australasian code for reporting of exploration results, mineral resources and ore reserves* (The JORC Code, 2012 edition). https://jorc.org/library/.

Kurylo, M. M., Paiuk, S. O., & Lytvyniuk, S. F. (2024). Praktyka otsinky proektiv nadrokorystuvannia v mizhnarodnykh klasyfikatsiinykh systemakh [Practice of evaluating subsoil-use projects in international classification systems]. In Subsoil use in Ukraine. Prospects for investment: Proceedings of the Ninth International Scientific and Practical Conference (pp. 144–148). DKZ. https://conf2024.dkz.gov.ua/files/2024_materials_net.pdf [in Ukrainian].

Lovyniukov, V. I., Lysenko, O. A., & Lytvyniuk, S. F. (2019). Otsinka dostovirnosti rozvidanykh zapasiv korysnykh kopalyn za danymy rozrobky rodovyshch [Assessment of the reliability of explored mineral reserves based on deposit development data]. *Zbirnyk naukovykh prats UkrDHRI*, (1–2), 76–84. https://www.geo.gov.ua/wp-content/uploads/2020/02/Sbornik_1-2_2019.pdf [in Ukrainian].

Lysenko, O. A. (2017). Heoloho-ekonomichna otsinka korysnykh kopalyn (aktualni pytannia y metodychni aspekty) [Geological-economic assessment of minerals (current issues and methodological aspects)]. *Mineral Resources of Ukraine*, (3), 22–26. https://mru-journal.com.ua/index.php/mru/article/view/216 [in Ukrainian].

Lytvyniuk, S. F., & Kurylo, M. M. (2024). Obgruntuvannia parametriv kondytsii dlia pidrakhunku zapasiv zalizorudnykh rodovyshch z metoiu optymizatsii system rozrobky [Substantiation of condition parameters for the calculation of reserves of iron ore deposits to optimize development systems]. *Mineral Resources of Ukraine*, (2), 16–20. https://doi.org/10.31996/mru.2024.2.16-20 [in Ukrainian].

Lytvyniuk, S. F., & Paiuk, S. O. (2023). Pravovi ta metodychni aspekty heoloho-ekonomichnoi otsinky zapasiv i resursiv korysnykh kopalyn v Ukraini: stan ta perspektyvy [Legal and methodological aspects of geological and economic assessment of mineral reserves and resources in Ukraine: Status and prospects]. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 4(103), 83–89. https://doi.org/10.17721/1728-2713.103.10 [in Ukrainian].

Lytvyniuk, S. F., & Paiuk, S. O. (2024). Zastosuvannia kryteriiv Ramkovoi klasyfikatsii resursiv OON pid chas otsinky, obliku ta upravlinnia mineralnymy resursamy Ukrainy [Application of the United Nations Framework Classification for Resources criteria during the assessment, accounting and management of Ukraine's mineral resources]. *Mineral Resources of Ukraine*, (1), 28–34. https://doi.org/10.31996/mru.2024.1.28-34 [in Ukrainian].

Lytvyniuk, S. F., Kurylo, M. M., & Burlutskyy, M. S. (2026). Implementing the UNFC and UNRMS criteria in the sphere of subsoil use of Ukraine. *Mineral Resources of Ukraine*, (2), 60–67. https://doi.org/10.31996/mru.2026.2.60-67.

Lytvyniuk, S. F., Kurylo, M. M., Virshylo, I. S., & Bratakh, M. I. (2023). Bazovi oznaky klasyfikatsiinykh system yak instrument upravlinnia ta investytsiinoho analizu proiektiv nadrokorystuvannia [Basic features of classification systems as a tool for management and investment analysis of subsoil use projects]. Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology, 3(102), 60–68. https://doi.org/10.17721/1728-2713.102.08 [in Ukrainian].

Mykhailov, V. A., Kurylo, M. M., & Kosharna, S. V. (2021). Heoloho-promyslova otsinka ta ranzhuvannia perspektyvnykh obiektiv vitchyznianoi bazy ridkisnozemelnykh elementiv [Geological-industrial assessment and ranking of promising objects of the domestic rare-earth-element base]. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 2(93), 32–40. https://doi.org/10.17721/1728-2713.93.04 [in Ukrainian].

Rudko, H. I. (Ed.). (2013). *Heoloho-ekonomichna ta vartisna otsinka rodovyshch korysnykh kopalyn yak pokaznyk efektyvnosti investytsiinykh proektiv [Geological-economic and valuation assessment of mineral deposits as an indicator of investment project efficiency].* Bukrek. https://www.dkz.gov.ua/ua/diyalnist/publikatsiji/45-geologo-ekonomichna-ta-vartisna-otsinka-rodovishch-korisnikh-kopalin-yak-pokaznik-efektivnosti-investitsijnikh-proektiv [in Ukrainian].

Rudko, H. I., Netskyi, O. V., & Lytvyniuk, S. F. (2021). Naukovo-metodychni i normatyvni chynnyky aktualizatsii rezultativ heoloho-ekonomichnykh otsinok rodovyshch korysnykh kopalyn [Scientific-methodical and regulatory factors for updating geological-economic assessments of mineral deposits]. *Mineral Resources of Ukraine*, (4), 36–40. https://doi.org/10.31996/mru.2021.4.36-40 [in Ukrainian].

United Nations Economic Commission for Europe. (2020). *United Nations Framework Classification for Resources: Update 2019* (ECE Energy Series No. 61). United Nations. https://unece.org/sustainable-energy/publications/united-nations-framework-classification-resources-update-2019-ece.

Vyzhva, S. A., Kurylo, M. M., Paiuk, S. O., & Tkachenko, Yu. V. (2023). Ekolohichni ta sotsialni ryzyky v mizhnarodnykh ta vitchyznianykh systemakh otsinky mineralnykh resursiv [Environmental and social risks in international and domestic mineral resource assessment systems]. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 2(101), 51–56. https://doi.org/10.17721/1728-2713.101.07 [in Ukrainian].

УДК 553.981.4:553.94(477.6)

ПРОБЛЕМИ СТАЛОГО РОЗВИТКУ МІНЕРАЛЬНО-СИРОВИННОЇ БАЗИ УКРАЇНИ

Жикаляк М.В., *д. екон. н, докт. філос (геол.), dongeo@ukr.net,*
Бондар О.П., *dongeo@ukr.net,*
Державне регіональне геологічне підприємство «Донецькгеологія»

Розглянуто проблеми сталого розвитку вітчизняної мінерально-сировинної бази та державного регулювання надрокористування після створення в 2011 році Державної служби геології та надр (Держгеонадра) України. Охарактеризовано системні виклики та ризики, оцінено інноваційно-інвестиційний потенціал і обґрунтовано адаптивні заходи та стратепідвищення мінерально-сировинного потенціалу України з метою забезпечення неоіндустріального розвитку національної економіки.

PROBLEMS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF THE MINERAL AND RAW MATERIAL BASE OF UKRAINE

Zhykalyak M.*, Dr. Sci.(Econ.), PhD (Geol.), dongeo@ukr.net,*
Bondar O., *dongeo@ukr.net,*
State Regional Geological Enterprise "Donetskgeologiya"

The problems of sustainable development of the domestic mineral and raw material base and state regulation of subsoil use after the creation of the State Service of Geology and Subsoil of Ukraine (State Geology and Subsoil Service) in 2011 are considered. Systemic challenges and risks are characterized, the innovation and investment potential is assessed, and adaptive measures and strategic improvement of the mineral and raw material potential of Ukraine are justified in order to ensure the neo-industrial development of the national economy.

Вступ. В результаті домінуючого політично-олігархічного, чиновницько-бюрократичного реформування надрокористування в Україні після підміни в 2011 році Державної геологічної служби Державною службою геології та надр України за аналогією з країною-агресором, держава випустила з рук стратегічне управління розвитком мінерально-сировинної бази та економічно збалансоване регулювання вітчизняним мінерально-сировинним комплексом в загальнонаціональних інтересах. Більш того, через масштабне зниження Російською Федерацією після 24.02.2022 року енергетичних і промислових об'єктів України, глобальні екологічні зміни та перманентні економічні проблеми в умовах суттєвих ресурсних обмежень, ефективне управління вітчизняною мінерально-сировинної базою (МСБ) набуває стратегічного значення з метою забезпечення після закінчення російської воєнної агресії неоіндустріального розвитку базових і оборонних галузей промисловості та національної економіки в цілому.

Однак, зараз усталена практика управління вітчизняною мінерально-сировинної базою зосереджена лише на використанні розвіданих у минулі роки родовищ корисних копалин без врахування сучасних вимог і стандартів. Державна служба геології та надр України (Держгеонадра), незважаючи на свій статус центрального органу виконавчої влади, який повинен реалізовувати державну політику у сфері геологічного вивчення та раціонального використання надр, перетворився у повноважений державний офіс з продажу спеціальних дозволів на користування надрами без врахування інноваційно-інвестиційних перспектив її удосконалення та сталого розвитку.

Не випадково, незалежні експерти Єврогеолслужби і Геологічних служб Канади і США ще в 2016 році дійшли висновку, що наявна структура Держгеонадр України не функціонує згідно затвердженого урядом Положення, кодексу України «Про надра» і Закону України щодо розвитку мінерально-сировинної бази на період до 2030 року тощо, її діяльність є фрагментарною, занадто складною та має згубний вплив на економіку і розвиток видобувних галузей України, будучи неспроможною забезпечити пріоритетні потреби держави в мінерально-сировинних (природних) ресурсах [2].

Оцінка інноваційно-інвестиційного потенціалу вітчизняної мінерально-сировинної бази. Мінерально-сировинна база (МСБ) України характеризується

масштабністю, багатокомпонентністю та значною цінністю запасів корисних копалин і належить до мінерально-сировинних регіонів світу з високим рівнем геологічної вивченості територій та значними обсягами видобування і використання мінеральної сировини. Зокрема за експертною оцінкою Ради з вивчення продуктивних сил України при Національній академії наук (НАН) України вклад продукції мінерально-сировинного комплексу (МСК) у ВВП держави в 2005 році досягав 40%, а за рахунок її реалізації та переробки забезпечувалось 60% доходу державного бюджету і 63% валютних надходжень від експорту. Частка мінерально-сировинних ресурсів у ВВП України складала більше 60% від усіх природних ресурсів, земельних – 20%, водних – 11%, лісових – 7% та інших менше 3% [1, 3].

До анексії Криму, неконтрольованості Україною з 2014 року чималої частини Донецької і Луганської областей та початку 24.02.2044 р. повномасштабної воєнної агресії Російської Федерації (РФ) в Україні обліковувалося 12,2 тисяч родовищ, з яких 7,8 тисяч 98 видів мали промислове значення. Проте лише менше 4,6 тисяч родовищ були освоєні та розроблялися, забезпечуючи функціонування більше 2 тисяч гірничовидобувних і переробних підприємств і компаній [1, 4]. Однак більше 90 % освоєних і резервних родовищ України були розвідані до 1991 року за неадаптованими до ринкових умов оціночними параметрами та вимогами. Тому в процесі приватизації гірничовидобувних підприємств з початком олігархізації базових галузей вітчизняної промисловості виявилося, що мінерально-сировинний комплекс України складається з 10% великих родовищ, які забезпечували 51% усього обсягу видобування корисних копалин, біля 27% середніх родовищ із 24% від загального видобутку та більше 63% малих родовищ, на які приходилася лише чверть загального видобутку мінеральної сировини [1].

З освоєних вітчизняним МСК видів корисних копалин, природний газ, нафта та вугілля до 2015 року забезпечували дві третини потреб України в первинних енергетичних ресурсах. При цьому вже в 2017 році строк завершення Енергетичної стратегії України прийшлося перенести з 2030 року на 2035 рік. Зараз власне видобування природного газу зменшилося більш ніж у 2 рази, нафти – у 3 рази, а кам'яного вугілля – в 4 рази від обсягів їх видобування в докризовий період. Інноваційно-інвестиційні перспективи збільшення власного видобутку первинних енергетичних ресурсів після закінчення воєнної агресії РФ та звільнення окупованих територій України, в основному, пов'язані зі збільшенням коефіцієнта нафтовіддачі в Західному нафтогазовому регіоні, освоєнням покладів нафти та природного газу північного борту центральної і південно-східної частин Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ), північно-західних околиць Донбасу та літоральної акваторії Азовського і Чорного морів. Збільшення енергетичного потенціалу вугільних родовищ можливе лише за умови відновлення рентабельного шахтного фонду Донбасу та освоєння вугільних родовищ як комплексних метано-вугільних.

Із металічних корисних копалин зі значною забезпеченістю потреб вітчизняної промисловості та експорту, найбільший потенціал сталого інноваційно-інвестиційного розвитку мають родовища залізних, марганцевих і циркон-титанових руд. Обмеженими або недостатньо освоєними перспективами сталого розвитку характеризуються родовища золота, срібла, нікелю, кобальта і хрому. До недостатньо вивчених з невиясненими перспективами видобування та переробки можна віднести поклади алюмінію, міді, металів платинової групи, свинцю і цинку.

Вирішальне, дуже важливе або унікальне значення для інноваційно-інвестиційного розвитку базових і оборонних галузей вітчизняної промисловості мають родовища та рудопрояви легких і тугоплавких рідкісних металів та рідкісних земель Волинського, Дніпровсько-Бузького, Приазовського і Центрального (Дніпровського) мегаблоків Українського щита. При цьому поклади рідкісних металів характеризуються досить високим ступенем геологічного вивчення, технологічністю видобування та збагачення руд і позитивним техніко-економічним обґрунтуванням промислового освоєння першочергових родовищ. Однак поклади рідкісних земель на даному етапі, за

виключенням Азовського родовища, характеризуються геолого-економічною обмеженістю щодо перспектив видобування та переробки рідкісноземельних руд.

З неметалічних корисних копалин значний потенціал інноваційно-інвестиційного розвитку мають родовища агрохімічної, будівельної та флюсової сировини, кам'яної, калійної та магнієвої солей, а також гіпсу і ангідриту. В цілому за кількістю видів розвіданих і освоєних високоліквідних родовищ неметалічних корисних копалин Україна займає провідне місце в Європі.

Системні виклики та ризики сталому розвитку МСБ і надрокористування в Україні. Застарілі технології та висока енергоємність видобутку та переробки освоєних родовищ корисних копалин не можуть забезпечити збільшення видобутку високоліквідних видів мінеральної сировини для стабілізації та сталого розвитку національної економіки. В той же час, більшість розвіданих у минулі роки родовищ резервного фонду надр є неконкурентно спроможними у зв'язку з тим, що розвідка і техніко-економічна оцінка запасів корисних копалин проводилися за застарілими методиками і оціночними параметрами, а наявна геологічна і економічна інформація про них є недостатньою для оцінки їх ліквідності та прийняття потенційними надрокористувачами позитивних рішень. Ситуація значно погіршилася через не проведення після створення в 2011 році Державної служби геології та надр України геологічного довивчення покладів (потенційних родовищ) дефіцитних, критичних і стратегічних корисних копалин з метою стабілізації та сталого розвитку базових і оборонних галузей вітчизняної промисловості.

Таким чином, застаріла методична база, відсутність технологічних і техніко-економічних вимог, інструкцій та стандартів щодо сучасної геолого-економічної оцінки родовищ неосвоєного фонду надр, які відповідали б ринковій кон'юнктурі мінеральної сировини, техніко-технологічним та економічним вимогам інвесторів – потенційних надрокористувачів є основними ризиками в управлінні стали розвитком мінерально-сировинної бази України.

Екологічні ризики, обмеження та наслідки стосовно забезпечення сталого розвитку МСБ і МСК України пов'язані із забрудненням геологічного середовища та довкілля, екологічними змінами та забрудненням підземних та поверхневих вод, вимогами екологічних стандартів і сертифікатів та необхідністю оцінки впливу на довкілля за участю територіальних громад. У свою чергу вищезазначені екологічні ризики обумовлюють прояв логістичних і технологічних ризиків та збільшують витрати на екологічні заходи і моніторинг.

Економічні виклики та їх негативний вплив на ефективність надрокористування пов'язані, перш за все, з олігархізацією базових галузей промисловості та відсутністю конкуренції у видобуванні й переробці корисних копалин, а також з обмеженням доступу до родовищ корисних копалин і мінерально-сировинних ринків.

В процесі визначення початкової ціни спецдозволів на користування надрами Державна служба геології та надр України не враховує величину гірничої ренти конкретного родовища та не обґрунтовує вартість рентабельних запасів корисних копалин у надрах, без врахування прогнозних ресурсів, що сприяє прояву корупційно-рентоорієнтованих ризиків і не сприяє інноваційно-інвестиційному розвитку надрокористування в державі. В Україні також відсутнє чітке розмежування права власності на розвідані запаси корисних копалин в залежності від джерела фінансування геологорозвідувальних робіт. Дані права за принципом нерухомості та капіталу повинні надаватися надрокористувачам в процесі оформлення спеціальних дозволів на користування надрами і гарантуватися державою в якості активу гірничовидобувних підприємств при отриманні кредитів та для забезпечення виробничої діяльності.

Чинна в Україні система оподаткування використання надр для видобутку корисних копалин у зв'язку із визначенням в якості бази оподаткування вартості видобутку, а не вартості одиниці видобутої мінеральної сировини, надає податкові переваги великим

високорентабельним гірничим компаніям без врахування величини гірничої ренти родовищ, що перешкоджає конкуренції та формує несприятливий інвестиційний клімат у вітчизняному надрокористуванні. В результаті в переважній більшості гірничовидобувних підприємств і компаній знижується рівень рентабельності виробництва та економічного прибутку (доходу), зменшуються обсяги виробництва мінеральної сировини та підвищується собівартість кінцевої товарної продукції. Це обумовлює ризик банкрутства суб'єктів гірничовидобувної діяльності, провокує тіньове видобування корисних копалин малими підприємствами і як наслідок призводить до зменшення надходження грошових коштів у державний та місцевий бюджети.

Адаптивні заходи та стратегії підвищення мінерально-сировинного потенціалу України. В контексті необхідності післявоєнної відбудови національного господарства з безальтернативним переходом до моделей неоіндустріалізації вітчизняної промисловості необхідно сформувати комплексну систему управління мінерально-сировинними ресурсами та розробити методологічні принципи щодо забезпечення ефективності взаємодії між науково обґрунтованими перспективами розвитку мінерально-сировинної бази України, техніко-економічною та промислово-технологічною оцінкою підготовленості родовищ критичних і стратегічних корисних копалин до промислового освоєння в сучасних соціально-економічних умовах. В Міністерстві економіки і екології та в Кабінеті Міністрів України повинно бути розуміння важливості основних завдань геології та надр для реалізації державної євроінтеграційної політики у сфері геологічного вивчення та використання надр. Тому напрями удосконалення державної політики в галузі геології та надр України повинні передбачити комплексні заходи з обов'язковим дотриманням стратегічного, компетентнісного, процесного та інноваційно-інвестиційного підходів.

В першу чергу необхідно забезпечити проведення цільових пошуково-оцінювальних і пошуково-розвідувальних робіт з метою підготовки до промислового освоєння родовищ корисних копалин, зазначених у мінерально-сировинній угоді між Україною та США, передбачивши обов'язкове виконання мінералого-технологічних досліджень, врахування ринкової кон'юнктури мінеральної сировини, граничних витрат на її видобування та сучасних вимог і стандартів. Тобто необхідно комплексно обґрунтувати геолого-економічну достовірність запасів корисних копалин неосвоєного фонду надр і оцінити підготовленість їх до промислового освоєння.

Соціально-екологічна відповідальність сучасного надрокористування передбачає мінімізацію негативного впливу видобування корисних на геологічне середовище, довкілля, збереження біорізноманіття та відтворення біоресурсів територіальних громад, гарантування екологічної безпеки для поверхневих і підземних вод та забезпечення соціально орієнтованого розвитку інфраструктури.

Процесуально-стратегічний підхід повинен поєднувати техніко-технологічну спроможність та економічну доцільність видобування корисних копалин неосвоєного фонду надр з отриманням ліквідної продукції у вигляді збагаченої мінеральної сировини або первинного чорнового концентрату, які спроможні забезпечити сталий інноваційно-інвестиційний розвиток мінерально-сировинного комплексу та неоіндустріалізацію вітчизняної промисловості.

Інституційно-компетентнісний підхід повинен забезпечувати геологічну фаховість управління, економічну збалансованість та нормативно-правову неупередженість функціонування Держгеонадр як спеціально уповноваженого державного органу в галузі геології та державного регулювання надрокористування в Україні.

Вищезазначені базові принципи потребують комплексної модернізації всієї системи управління МСБ і МСК України з відокремленням функції видачі спеціальних дозволів на користування надрами, шляхом створення Державного агентства природних ресурсів, від забезпечення реалізації державної політики в сфері геологічного вивчення надр та

забезпечення сталого приросту запасів корисних копалин завдяки організації функціонування Сервісної геологічної служби України.

Не менш ефективними заходами забезпечення інноваційно-інвестиційного розвитку надрокористування в Україні стануть врегулювання прав власності на геологічну інформацію та розвідані запаси корисних копалин в залежності від джерела фінансування геологорозвідувальних робіт, удосконалення системи рентного оподаткування використання надр для видобування корисних копалин і запровадження в Україні Стандарту прозорості геологічної діяльності та надрокористування (Стандарту ПГДН).

Висновки. Державна служба геології та надр України, замінивши в 2011 році Державну геологічну службу, зосередила свою діяльність переважно на видачі спеціальних дозволів на користування надрами. Ресурсний потенціал неосвоєного фонду надр практично не удосконалювався протягом останніх 15 років, тому з резервних об'єктів надр найбільшим інноваційно-інвестиційним потенціалом для неоіндустріального розвитку вітчизняної промисловості характеризуються родовища і перспективні рудопрояви рідкісних металів і обмеженим – потенційні родовища рідкісних земель.

Рекомендовані адаптивні заходи передбачають реалізацію геологічних, технологічних, техніко-економічних, соціально-екологічних, процесуальних та інституційних стратегій комплексної модернізації управління сталим розвитком МСБ і надрокористуванням в Україні.

Отримані результати мають прикладне значення для Міністерства економіки і екології та Кабінету Міністрів України щодо удосконалення державного регулювання геологічної, гірничовидобувної та переробної галузей промисловості і повинні враховуватися при реалізації загальнодержавних заходів стосовно забезпечення ефективного використання мінерально-сировинних ресурсів в контексті сталого розвитку національної економіки.

Список використаних джерел:

1. Амоша О., Жикаляк М., Квілінський О. Концептуальні напрями удосконалення механізму реформування геологічного сектору та використання корисних копалин в Україні // моногр.: Інноваційне промислове підприємство у форматі сталого розвитку // ред. кол. О.І. Амоша, Х. Джвігол, Р. Мішкєвіч – НАН України, Ін-т економіки промисловості – Київ, 2018 – С. 7-31.

2. Демкелі Л., Налеч Т., Овадіа Д. та ін. Незалежна оцінка Державної служба геології та надр України // Сервісна геологічна служба Європи, лютий 2016 –Брюсель – Київ – 28 с.

3. Полторак В.В. Теоретичні підходи до управління біоресурсами в контексті сталого розвитку // Управління економікою: теорія та практика, збірник наук. праць // НАН України, Ін-т економіки промисловості, редкол.: О.О. Хандій (голов. ред.), В.І. Ляшенко (відп. ред.), В.Є. Куриляк та ін. – Київ, 2025 – С. 273-286.

4. Чорна О.А., Коритько Т.Ю. Структурно-галузеві диспропорції промислового розвитку України: прояви та наслідки // Управління економікою: теорія та практика. Чумаченківські читання: збірник наук. праць // НАН України, Ін-т економіки промисловості, редкол.: О.О. Хандій (голов. ред.), В.І. Ляшенко (відп. ред.), В.Є. Куриляк та ін.– Київ, 2025 – С. 115-140.

КРИТИЧНІ ТА СТРАТЕГІЧНІ КОРИСНІ КОПАЛИНИ: ГЛОБАЛЬНІ ПЕРСПЕКТИВИ ДЛЯ УКРАЇНИ



УДК 553.43:552.3 (477.8)

ЛІКВАЦІЙНО-МАГМАТИЧНИЙ МЕХАНІЗМ ФОРМУВАННЯ САМОРОДНОЇ МІДІ У ВОЛИНСЬКИХ ТРАПАХ

Федоришин Ю.І., *д. геол. н., доцент, fedoryshyn388@ukr.net;*
Наумко І.М., *д. геол. н., проф., член-кореспондент НАН України, naumko@ukr.net;*
Бацевич Н.В., *к. геол. н. (доктор філософії), natalja_bats@ukr.net,*
Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, Львів, Україна

Розглянуто можливий ліквацийно-магматичний механізм формування самородної міді у базальтах Волинської трапової провінції. Простежено зв'язок мідного зруденіння з будовою лавових тіл, товщиною базальтових потоків, палеорельєфом та умовами тривалої стагнації розплаву. Обґрунтовано роль замкнених палеодепресій, у яких великі об'єми лави могли функціонувати як «лавові озера», забезпечуючи тривале збереження енергії, повільне охолодження, конвекцію, фільтр-пресинг і диференціацію. Особливу увагу приділено самородній міді, її краплеподібним виділенням, інтерстиційному положенню та спостережуваній коалесценції. Наведені ознаки певною мірою протиставляються ознакам гідротермального процесу (пізнього гідротермального привносу). Запропоновано використовувати карти палеорельєфу, товщин потоків і дані свердловин для прогнозування локальних зон концентрації міді.

LIQUATION-MAGMATIC MECHANISM OF NATIVE COPPER FORMATION IN THE VOLYN TRAPS

Fedoryshyn Yu., *Dr. Sci. (Geol.), Assoc. Prof., fedoryshyn388@ukr.net;*
Naumko I., *Dr. Sci. (Geol.),Prof., corres. member NASU, naumko@ukr.net;*
Batsevych N., *Cand. Sci. (Geol.), (PhD), natalja_bats@ukr.net,*
Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals of NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine

The possible liquation-magmatic mechanism of the formation of native copper in basalts of the Volyn Trap Province is considered. The relationship of copper mineralization with the structure of lava bodies, the thickness of basalt flows, paleorelief and conditions of long-term melt stagnation is traced. The role of closed paleodepressions, in which large volumes of lava could function as "lava lakes", ensuring long-term energy conservation, slow cooling, convection, filter pressing and differentiation is substantiated. Special attention is paid to native copper, its drop-like release, interstitial position and observed coalescence. The above signs are to some extent opposed to the signs of the hydrothermal process (late hydrothermal input). It is proposed to use paleorelief maps, flow thicknesses, and well data to predict local copper concentration zones.

Вступ. Волинська трапова провінція характеризується розвитком базальтових виливів, у яких локально фіксуються підвищені концентрації та виділення самородної міді. Загальний вміст міді у значній частині базальтів може залишатися на кларковому рівні, однак локально сформувалися значні металеві агрегати, зокрема маса деяких жовнових самородків міді, приурочених до лавокластичної брекції нижнього базального горизонту лучичівської світи волинської серії, сягає 735 і 982 грами (відповідно, Рафалівська і Мидська ділянки). [3]. Це вказує на можливість ефективної локальної сегрегації міді навіть за відсутності регіональної первинної міденосності, характерної для деяких світових трапових провінцій.

Мета роботи – обґрунтувати геологічні та фізико-хімічні передумови концентрації самородної міді у волинських базальтах і визначити ознаки, які можуть бути використані для прогнозування перспективних ділянок. Основна увага приділена зв'язку мінералізації з будовою лавових тіл, товщиною потоків, палеорельєфом і процесами ліквації.

Матеріали та методи. Основою аналізу стали результати узагальнення даних з понад 400 свердловин, які перетнули трапові відклади та увійшли у підстильні осадові й вулканогенно-осадові породи. За цими матеріалами побудовано карти рельєфу поверхні стратифікованих товщ і карти товщини у масштабі 1:50 000 [6]. Також використано мінералого-петрографічні спостереження за положенням крапель міді та їхніми мікроструктурними взаємовідношеннями.

Результати та обговорення. Вихідний матеріал дозволяє розглядати формування самородної міді як частину єдиної флюїдно-магматичної системи. Згідно з петрологічною моделлю, пов'язаною з роботами О. О. Маракушева, яка розвивалася в межах тогочасного

радянського геологічного простору, на ранніх стадіях еволюції магматичних систем відбувається диференціація розплаву, де в умовах низької сірчистості та відновного середовища можливе утворення самородних металів [2]. Особливу роль у цьому процесі автори відводять флюїдам, зокрема водню, який за декомпресії магми здатний сприяти відновленню міді та її переходу в металевий стан [5]. Означена концепція рідинного розшарування (ліквації) магми та флюїдного транспорту знайшла своє відображення й переосмислення у сучасних працях, як українських науковців (зокрема, в дослідженнях Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М. П. Семененка НАН України та ін.), так і провідних західних фахівців (наприклад, [7]).

Важливим чинником концентрації є декомпресія та дегазація базальтового розплаву. Падіння тиску під час підйому магми зменшує розчинність летких компонентів, унаслідок чого формується флюїдна фаза. За запропонованою моделлю, мікрокраплі металевої міді можуть утворюватися ще до завершення основної кристалізації та захоплюватися кристалами плагіоклазу, які ростуть. Мікровключення самородної міді у ранніх мінералах розглядаються як індикатор міденосності магматичного осередку [1].

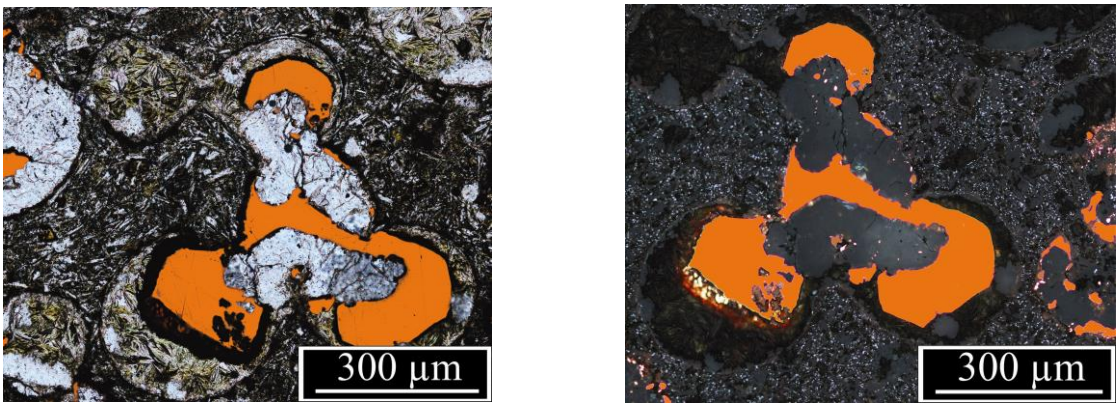
Принципове значення має морфологія лавових тіл. Детальне картування показує, що локальні замкнені депресії можуть бути «пастками», де товщина базальтового потоку різко збільшується, наприклад від 10–15 до 40–50 м. Такі ділянки інтерпретуються як можливі аналоги «лавових озер». Велика товщина розплаву збільшує тривалість його охолодження, створює умови для внутрішньої конвекції та гравітаційного сортування, а також сприяє перерозподілу рудного компонента.

У замкненому об’ємі кристалізація олівіну, піроксену та інших силікатів може супроводжуватися витісненням залишкового, збагаченого міддю розплаву та його переміщенням до зон зниженого тиску. Конвективні потоки здатні переносити рудний компонент до бортових частин котловин, де охолодження відбувається швидше і можуть формуватися геохімічні бар’єри. Додатковим чинником є зв’язок міді з процесами перебудови плагіоклазу та вивільненням кальцію; у вихідному матеріалі ця залежність розглядається як Ca–Cu кореляція, пов’язана з автометасоматичними процесами [5].

Особливо показовою є кореляція максимальних вмістів міді з товщиною лавових тіл: за даними дослідження, така залежність зберігається і підтверджується картами. Це дає підстави розглядати товщину потоку не лише як геометричний параметр, а як потенційний індикатор тривалості збереження високотемпературного стану та ефективності диференціації. З іншого боку сильно розчленований палеорельєф міг мати негативний вплив: розгалужені потоки швидко втрачали тепло й леткі компоненти, що зменшувало час, доступний для концентрації міді.

Мінералого-петрографічні ознаки також підтримують магматичну інтерпретацію. Серед них зазначено просторове положення мідних зон відносно покрівлі та підошви потоку, відсутність виражених вторинних змін у частині міденосних базальтів та структурне положення крапель міді, подібне до положення акцесорних Fe–Ti оксидів. Для ліквaційно-магматичної моделі характерний генетичний зв’язок з масою розплаву та гравітаційно-конвективне сортування, тоді як гідротермальна модель передбачає січні тіла, прив’язані до тріщин, і виражені ореоли метасоматичних змін.

Окремим аргументом є спостережувана коалесценція крапель міді (рис. 1). Якщо інтерпретувати такі структури як результат злиття металевих крапель у ще гарячому розплаві, то вони свідчать про перебування металевої фази у рухомому стані та про достатню тривалість процесу. Це узгоджується з моделлю «лавового озера», де тривале збереження рідкої фази створює умови для агрегації дрібних крапель у більші металеві виділення.



а) **б)**

Рис. 1. Фрагмент лавобрекчії, яким проілюстроване явище коалесценції крапель міді. Структура – глобулярна. Глобулі виповнені хлоритом. Структура основної маси – інтерсертальна. Центральна частина представлена вкрапленнями міді та зернами кварцу. Виділення плагіоклазів навколо вкраплень міді начебто повторюють форму зерен. Це вказує на їхнє відокремлення у рідкому стані (у розплаві ?). Шліф 4: а – ніколі ІІ, б – у відбитому світлі

Висновки.

1. Самородна мідь у волинських базальтах може розглядатися як продукт локальної концентрації в межах єдиної флюїдно-магматичної системи; наведені матеріали не зводять її походження виключно до пізнього гідротермального привносу.

2. Найперспективнішими для пошуків зон концентрації є локальні палеодепресії, де товщина лавових тіл зростає та могли формуватися й існувати умови тривалої стагнації і диференціації розплаву.

3. Кореляція вмісту міді з товщиною потоків, положення мідних виділень у внутрішній будові лавових тіл, відсутність виражених гідротермальних змін та коалесценція крапель є важливими ознаками ліквацийної моделі.

4. Для практичного прогнозування доцільно поєднувати карти палеорельєфу, карти товщини, дані свердловин та мінералого-петрографічні спостереження, спрямовуючи буріння на локальні «котловини» та вузли концентрації лавових мас [4].

Список використаних джерел:

1. Бацевич Н. В., Федоришин Ю. І., Наумко І. М. Петрографічні ознаки ліквації та вплив ліквацийних явищ на формування самородно-мідного зруденіння у міденосних вулканітах трапової формації Західної Волині (Україна). Scientific Collection «InterConf+». 2024. № 43 (193). С. 368–379. https://doi.org/10.51582/interconf.19-20.03.2024.036.

2. Маракушев А. А., Граменицкий Е. Н., Коротаев М. Ю. Петрологическая модель эндогенного рудообразования. Геология рудных месторождений. 1983. № 1. С. 3–20.

3. Мельничук В. Г. Міденосні трапи Волині і суміжних територій Східної Європи. Рівне: НУВГП, 2022. 328 с.

4. Наумко І. М., Бацевич Н. В., Федоришин Ю. І., Гвоздевич О. В. Спосіб прогнозування збагачених горизонтів металоносних родовищ // Патент України UA 157865 U. МПК G1N 1/28 (2006.01). Номер заявки: u202402826. Дата подання заявки: 27.05.2024. Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: 05.12.2024. Публікація відомостей про державну реєстрацію: 04.12.2024, бюл. № 49/2024, https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1831397/ Чинний.

5. Нестерович Н. В. Геохімія флюїдів середовища формування міденосних параґенезів у вулканітах трапової формації зони зчленування Волинського палеозойського підняття і Волино-Подільської моноклінали : автореф. дис. … канд. геол. наук. Львів, 2014. 20 с.

6. Naumko I., Batsevych N., Fedoryshyn Y., Pavlyuk M., Myshchyshyn Yu., Repyn I. Peculiarities of the distribution of thickness and paleo-surface relief of basalts of Luchychi strata (Western Volyn). Geodynamics. 2021. № 1 (30). P. 36–47. https://doi.org/10.23939/jgd2021.01.036.

7. Robb L. Introduction to Ore-Forming Processes. Blackwell Publishing. Malden, USA. 2005. 386 p.

УДК 553.98

ФАКТОРИ ПРОГНОЗУ НАФТОГАЗОНОСНОСТІ ТЕКТОНІЧНО ЕКРАНОВАНИХ ПАСТОК ВУГЛЕВОДНІВ

Харченко М.В., *к. геол.-мін. н, ukraineuser@gmail.com;*
Державна комісія України по запасах корисних копалин, м. Київ, Україна

Підвищення ефективності пошуково-розвідувального буріння на пастках тектонічно екранованого типу вимагає правильної оцінки умов екранування. Провідна роль в екрануванні покладів вуглеводнів тектонічно екранованого типу належить безпосередньо зонам тектонічних порушень. На основі аналізу та узагальнення фактичних матеріалів, отриманих за результатами досліджень особливостей геологічної будови і нафтогазоносності родовищ ВВ та структур, де були отримані негативні результати, визначені основні параметри тектонічних порушень, які впливають на екрануючі властивості і нафтогазоносність.

FACTORS FOR FORECASTING THE OIL AND GAS POTENTIAL OF TECTONICALLY SHIELDED HYDROCARBON TRAPS

Kharchenko M., *Cand. Sci. (Geol.-Mineral.), ukraineuser@gmail.com;*
State Commission of Ukraine on Mineral Resources, Kyiv, Ukraine

Enhancing the efficiency of exploratory drilling in tectonically screened traps requires an accurate assessment of screening conditions. The leading role in sealing hydrocarbon accumulations within such traps belongs directly to the zones of tectonic faulting. Based on the analysis and generalization of factual data obtained from studies of the geological structure and hydrocarbon potential of productive fields, as well as from structures where drilling yielded negative results, the key parameters of tectonic faults that affect sealing capacity and hydrocarbon potential have been identified.

Основні нафтогазовидобувні регіони України (Східний і Західний) характеризуються невпинним скороченням фонду неопошукованих нафтогазоперспективних об’єктів. Фонд антиклінальних структур практично вичерпаний і до проведення геологорозвідувальних робіт (ГРР) залучаються інші типи перспективних об’єктів, чільне місце серед яких належить тектонічно екранованим пасткам. Ефективність проведення ГРР на тектонічно екранованих пастках залежить від правильної оцінки екрануючих властивостей тектонічних порушень.

Аналіз результатів проведення ГРР на пастках тектонічно екранованого типу [1-3] та аналіз численних наукових публікацій [4, 5 та ін.] однозначно свідчать, що екранування покладів вуглеводнів (ВВ) в пастках тектонічно екранованого типу відбувається не за рахунок просторового співвідношення проникних і непроникних порід по різні боки порушення, як інколи вважається [6, 7], а виключно за рахунок петрофізичних властивостей **зони тектонічних порушень**.

Методика прогнозу нафтогазоносності тектонічно екранованих пасток ВВ на основі співвідношення проникних і непроникних порід по обидва боки порушення базується на помилковому допущенні, що різні блоки тектонічного порушення розділяє **площина порушення**. Проте різні блоки порушення розділяють не **площина порушення**, а **зона порушення**. І це є принциповим фактором у визначенні умов екранування тектонічно екранованих пасток ВВ.

Зони тектонічного порушення, в залежності від умов їх утворення, можуть характеризуватися різними петрофізичними (ємнісно-фільтраційними) властивостями. Відповідно зони порушення можуть бути непроникними, утворюючи екран і, відповідно, пастку ВВ, або проникними. В останньому випадку умови для утворення пастки ВВ будуть несприятливими. Факторами потенційного контролю нафтогазоносності можуть бути як структурні умови так і літологічна/петрофізична характеристика перспективної частини розрізу.

Принципово важливим є визначення характеристики зон порушень – її товщини та петрофізичних (ємнісно-фільтраційних) властивостей. За даними численних досліджень [8, 9 та ін.] товщина зони порушення (дроблення та мілонітізації) може змінюватися в

широкому діапазоні та досягати десятків метрів. Тобто товщини зон порушень можуть бути співмірними з товщинами покришок над родовищами ВВ.

Проведені експериментальні дослідження зон тектонічних порушень [5, 9 та ін.] дозволяють зробити висновок, що найбільш змінена частина речовини зони розломів, особливо їх центральна частина (мілоніти або «глинка тертя»), можуть характеризуватися проникністю меншою за 10^{-19} м^2 і навіть 10^{-21} м^2. Це свідчить про потенційно високі екрануючі властивості зон тектонічних порушень.

Наведені характеристики зон тектонічних порушень (товщини та петрофізичні/ємнісно-фільтраційні властивості) дозволяють ґрунтовно стверджувати, що зони тектонічних порушень за своїми властивостями можуть бути екранами для покладів ВВ і утворювати тектонічно екрановані пастки. При цьому не має жодного значення просторове співвідношення в зоні порушення проникних і непроникних порід екранованого й екрануючого блоків (тобто наявність чи відсутність контакту проникних порід екранованого блока із породами-колекторами екрануючого блока).

Враховуючи, що просторове співвідношення проникних і непроникних порід в зоні порушення не впливає на екрануючі властивості тектонічних порушень, був проведений аналіз десятків родовищ ВВ (приурочених до пасток тектонічно екранованого типу) та десятків структур (з пастками тектонічно екранованого типу), де були отримані негативні результати [2, 10]. Проведений аналіз базувався на матеріалах центральної частини Північного борту Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ), де тектонічний фактор контролю нафтогазоносності проявився найбільш яскраво у порівнянні з іншими частинами регіону. Це дозволило визначити фактори впливу (а для окремих параметрів і їх кількісну характеристику) на якість фільтраційно-ємнісних властивостей тектонічних порушень. Проведений аналіз базувався на розгляді особливостей тектонічних порушень через історію їх розвитку та їх просторову характеристику.

Тип порушення. Тип тектонічного порушення безпосередньо впливає на його екрануючі властивості, позаяк визначає як розподіл напруг в зоні розлому так і особливості речовини зони розлому (проникні або непроникні породи). Основними типами порушень в нафтогазоносних регіонах є скиди (згідні і незгідні) підкиди та насуви. Їх розповсюдження дуже різноманітне і залежить від геодинамічної обстановки на конкретній ділянці. Наприклад в ДДЗ в межах грабену домінують скиди, в той же час в зоні зчленування з Воронезським масивом широко розвинені підкиди і підкидо-насуви. Така ж різноманітність характерна і для Західного нафтогазоносного регіону – від домінування скидів на Волино-Поділлі до широкого розвитку насувів в межах Бориславсько-Покутської зони та Складчастих Карпат.

Цікавою є ситуація в центральній частині Північного борту ДДЗ, де широко розвинені як згідні скиди так і незгідні скиди. Різні особливості їх утворення безпосередньо впливають і на різну перспективність нафтогазоносності [1].

Скиди утворюються в умовах розтягу з опусканням висячого крила тектонічного порушення. У процесі формування **згідних скидів** (в умовах, коли напрямки падіння площини скиду і осадових верств співпадають) під час опускання висячого крила осадові утворення його крайових частин дещо заломлюються догори, розтягуються і розущільнюються [1]. Особливо інтенсивно цей процес може йти за наявності неміцних порід. При цьому утворюється зона розлому, яка характеризуються розущільненням і потенційною проникністю. Розвиток розущільнення негативно впливає на екрануючі властивості потенційних покладів ВВ і знижує перспективи нафтогазоносності. В умовах розтягу за наявності тріщин поблизу зони розлому тріщини можуть залишатися відкритими (особливо при високому тиску флюїдів) що також погіршує екрануючі властивості. На противагу цьому наявність в розрізі потужних глинистих верств може покращити екрануючі властивості зони розлому.

Особливістю **незгідних скидів** є протилежний напрямок падіння площини порушення та осадових верств. Незгідні скиди утворюються в умовах, коли тектонічні напруги не

корелюються з напрямком падіння осадових верств. Подібні розбіжності напрямків падіння обумовлюють під час розломоутворення загинання донизу осадових верств, що безпосередньо прилягають у лежачому крилі до площини порушення [1]. В цих умовах під час переміщення тектонічних блоків у прирозломній частині лежачого блока спостерігається дроблення та інтенсивне перетирання осадових утворень. Унаслідок цього у фронтальній частині лежачого блока може утворюватися зона мілонітізації («глинка тертя»), яка представлена тонко перетертою породою. Одночасно з тонким перетиранням порід у прирозломній зоні можлива перекристалізація: відбувається окварцювання, утворюються нові луски серициту, хлориту та деяких інших мінералів [8]. Розвитку мілонітів сприяють неодноразові й різнонаправлені рухи по поверхні порушення.

Підкиди, на противагу скидам, утворюються в умовах стиснення. При переміщення сусідніх блоків тектонічного порушення також утворюється (як у скидів) зона порушення. Проте, на відміну від скидів, при формуванні підкидів динаміка стиснення сприяє більш інтенсивній переобробки первинного матеріалу і формуванню більш ущільненої зони розлому. Крім цього на ділянках поблизу зон розлому наявні різноманітні тріщини в умовах стиснення є закритими і, відповідно, непровідними для флюїдів. Внаслідок зазначених факторів зона розлому підкиду буде характеризуватися кращими екрануючими властивостями у порівнянні із скидами. Ще більш сприятливі умови екрануванні у **насувів**. Формування насувів за геодинамікою близьке до підкидів і також утворюються в умовах стиснення. Основною відмінністю насувів є більш пологе залягання у порівнянні із підкидами. При переміщенні висячого крила насуву за рахунок більш пологого залягання переобробка первинного матеріалу йде більш інтенсивно у порівнянні з підкидами. Також зона насувів характеризується і підвищеним літостатичним тиском. Крім того, що насуви відрізняються від підкидів більш пологим заляганням, насуви характерни для покровних і складчастих структур і можуть мати велику довжину переміщення (наприклад Складчасті Карпати).

Таким чином, аналіз умов утворення і розвитку різних типів порушення дозволяє за критерієм екрануючих їх властивостей визначити, що з точки зору нафтогазоносності більш перспективними є **підкиди**, **насуви** та **незгідні скиди**. **Згідні скиди** також можуть утворювати поклади ВВ, проте перспективи даного типу порушень менші у порівнянні з вищезазначеними.

Продуктивність/нафтогазоносність порушення – наявність родовища, що екранується певним порушенням, вже вказує на здатність даного порушення екранувати поклади ВВ. Більшість родовищ на певній території тяжіють до порушень, що мають ідентичну характеристику, зокрема однакову направленість. Виходячи з зазначеного можна визначити наступне ранжування продуктивності порушень: порушення вважається продуктивним, якщо вже відоме екрановане цим порушенням родовище (родовища); порушення вважається перспективним, якщо приналежить до системи порушень, частина з яких є продуктивними або до порушень з будовою, аналогічною порушенням, що екранують поклад. В інших випадках продуктивність (і перспективність) порушення вважається не визначеною. Приуроченість перспективного об'єкту до порушення, яке екранує вже відкриті родовища ВВ, є дуже важливим позитивним фактором. Цей фактор свого часу зіграв позитивну роль у відкритті, після Недільного родовища, ще Кузьмичівського та Володарського родовищ ВВ в центральній частині Північного борту ДДЗ. Таким чином всі прогнозні тектонічні порушення можна проранжувати наступним чином : 1) **з доведеною нафтогазоносністю**; 2) **перспективне**; 3) **нафтогазоносність не визначена**.

Амплітуда порушення - як показує аналіз будови родовищ і структур з негативним результатом, збільшення амплітуди порушення позитивно впливає на екрануючу здатність зони порушення. В першу чергу це пов'язане з більшою інтенсивністю механічної переробки речовини зони порушення (відповідно утворення більш тонкодисперсного матеріалу). Як додатковий фактор можна також зазначити, що змінність термобаричних

умов (чим більше амплітуда порушення тим більше зміна термобаричних умов) створює сприятливі умови до випадіння з розчинів речовини, що може ущільнювати зону порушення. На основі зазначеного є підстави виділяти великоамплітудні та малоамплітудні порушення, причому граничне значення цього параметру може визначатися для конкретного типу порушення на певній території окремо. За амплітудою порушення можна поділити: 1) **великоамплітудне порушення** з амплітудою $\geq$ 80 м; 2) **малоамплітудне порушення** з амплітудою < 80 м.

Тривалість розвитку порушення – з амплітудою порушення тісно пов'язаний і вік його розвитку. Як правило, серед порушень певної території найбільш продуктивними є порушення, що характеризуються найдовшою активністю в часі. Причини цього полягають в більшій тривалості процесів мілонітизації, метасоматозу тощо, які разом з механічною переробкою матеріалу роблять речовину зони розлому ще більш щільною. Таким сином можно виділити: 1) **довготривалі порушення** характеризуються розвитком до C_3 і більш молодого віку; 2) **короткотривалі порушення** з розвитком до C_2 включно.

Кут падіння порушення – кут падіння порушення може суттєво впливати на його екрануючі властивості. Порушення, падіння яких на всій довжині близькі до вертикальних поступаються в плані нафтогазоносності перед похилими та такими, що мають не тільки вертикальні, але й похилі ділянки. Це вплив обумовлено двома факторами. По-перше, на похилу частину зони порушення в такому випадку діє сила гравітації вище розташованого крила, створюючи додаткове ущільнення. Крім того, в зонах похилих ділянок порушень під час тектогенезу відбувається більш інтенсивна переробка кластичного матеріалу (у порівнянні з вертикальними порушеннями), що сприяє мілонітизації зон порушень і, відповідно, покращенню їх екрануючих властивостей. За цим критерієм порушення можно поділити на вертикальні (та близькі до вертикальних – крутопадаючі) і похилі: 1) **вертикальні/крутопадаючі порушення** характеризуються кутом падіння $\geq 55^{\circ}$; 2) **похилі порушення** характеризуються кутом падіння $< 55^{\circ}$;

Наявність додатних плікативних форм, що ускладнюють порушення – тектонічні порушення часто ускладнені різноманітними плікативними дислокаціями. Плікативні форми, що утворилися при розвитку порушення, характеризуються зонами додаткового стиснення що є позитивним фактором на користь умов екранування, а в окремих випадках і сама така, форма свідчить про значне бічне стиснення в зоні порушення. Крім того, додатні плікативні форми в будь-якому випадку створюють додатковий об’єм пастки ВВ, що відповідно збільшує її ресурсну базу. За можливою наявністю плікативних форм тектонічні порушення поділяються: 1) **плікативно ускладнені** з амплітудою плікативних дислокацій $\geq$ 50 м; 2) **плікативно не ускладнені**, або з плікативними дислокаціями амплітудою < 50 м.

Дуже важливо підкреслити, що для оцінки зазначених факторів достатньо отримання результатів сейсморозвідки, тобто ще до проведення буріння на нафтогазоперспективному об’єкті.

Крім тектонічних факторів на умови екранування в зоні тектонічних порушень суттєво впливають також літологічні/петрографічні особливості будови геологічного розрізу.

Глинистість розрізу. Основною екрануючою речовиною зони порушення є глинисті породи, які при тектонічних рухах набувають шарувату структуру, орієнтовану паралельно площині порушення. Мілоніти зони порушень утворюються в умовах тектонічних рухів навіть з найміцніших порід, в т. ч. утворень кристалічного фундаменту [4, 7, 10, 14 та ін.]. Для перетворення таких міцних порід в мілоніти з достатніми екрануючими властивостями необхідна суттєва переробка первинного матеріалу при інтенсивному тектогенезі, в той же час як осадові глинисті породи від початку мають необхідні екрануючі якості. Крім того, глинисті матеріали більш здатні до руйнації у порівнянні з іншими літологічними різновидами. Як наслідок, збільшення вмісту глинистих порід збільшує товщину зони порушення та покращує її екрануючі властивості. При достатній кількості глинистої речовини навіть уламковий матеріал крихких порід-колекторів (якщо він присутній у

відносно невеликій кількості) цементується глинкою тертя і дуже мало впливає на екрануючу здатність зони тектонічного порушення.

Необхідно зазначити, що для прогнозування нафтогазоносності тектонічно екранованих пасток ВВ на основі лише просторового співвідношення проникних і непроникних порід по різні боки порушення (яке вважаємо хибним і що вже доведено [1-3]) було необхідно дуже детально (з точністю до перших метрів) спрогнозувати як товщини так і положення в розрізі як порід колекторів так і непроникних порід. Такий точний прогноз не можна вирішити навіть за результатами 3D сейсморозвідки. Використання для детального прогнозу положення в розрізі проникних і непроникних порід на основі порівняння із сусідніми ділянками в умовах вертикальної і латеральної літологічної мінливості є хибним. Результати буріння свердловин вказують, що фактичний розріз не є тотожним до проектного. Натомість прогноз загальної глинистості (**без прив'язки до конкретних прошарків !**) є набагато більш простим завданням, яке можно вирішити за результатами аналізу сусідніх ділянок і параметричного аналізу 3D сейсморозвідки. За літологічним вмістом перспективна частина розрізу може мати : 1) **глинистий розріз** (вміст глинистого матеріалу $\geq$ 50 %); 2) **малоглинистий розріз** (вміст глинистого матеріалу < 50 %).

Шаруватість розрізу. При однаковому загальному літологічному складі порід (тобто співвідношення у розрізі проникних і непроникних порід) для екранування покладів ВВ суттєве значення має шаруватість розрізу, а саме товщина прошарків різного літологічного складу. Чим менша товщина окремих літологічних різновидів, тим швидше вони перемішуються при тектонічних рухах, і відповідно, формується більш однорідна речовина, що заповнює зону порушення, створюючи сприятливі умови для екранування покладів ВВ. При наявності в розрізі масивних пластів-колекторів потрібні, навпаки, високоамплітудні і тривалі в часі переміщення блоків порушення з інтенсивною переробкою теригенного матеріалу, щоб зона порушення між блоками була заповнена тонкодисперсною більш однорідною непроникною речовиною. Суттєвий вплив шаруватості розрізу на перспективність тектонічних порушень проявляється, наприклад, в Більче-Волицькій зоні Західного регіону. Тонкошаруватість дашавських відкладів (товщини окремих прошарків зазвичай складають від часток метра до перших метрів) при значному вмісті глинистих порід призводить до заповнення зони порушення (навіть при незначних амплітудах) пластичним матеріалом зі значним вмістом глин, що створює сприятливі умови для екранування покладів навіть газу. За критерієм шаруватості можна потенційні розрізи поділити на: 1) **тонкошаруваті** (товщина окремих пропластків < 0,5 м); 2) **шаруваті** (товщина окремих пропластків 0,5-25 м); 3) **масивно-шаруваті** (товщина окремих пропластків > 25 м).

Зазначені тектонічні і літологічні/петрографічні фактори є основою для оцінки перспектив нафтогазоносності тектонічно екранованих пасток ВВ. Оцінка перспектив нафтогазоносності повинна виконуватися на основі комплексного аналізу з урахуванням перелічених факторів. Необхідно підкреслити, що запропонований методичний підхід є актуальним і в інших нафтогазоносних регіонах. Кількісні характеристики параметрів можуть відрізнятися, проте методичний підхід є універсальним.

Висновки

1. Екранування покладів ВВ в пастках тектонічно екранованого типу відбувається не за рахунок просторового співвідношення проникних і непроникних порід по різні боки порушення, а за рахунок **зони тектонічних порушень**.

2. Зона порушення може характеризуватися різними петрофізичними (ємнісно-фільтраційними) властивостями. Відповідно зони порушення можуть бути непроникними, утворюючи екран і, відповідно, пастку ВВ, або проникними. В останньому випадку умови для утворення пастки ВВ будуть несприятливими.

3. Сприятливими структурними умовами для утворення пасток ВВ тектонічно екранованого типу є: незгідні скиди, підкиди та насуви; приуроченість перспективного

об’єкту до порушення, яке екранує вже відкриті родовища ВВ; значна амплітуда порушення; довготривалість порушення в часі; наявність похилих ділянок в будові порушення; наявність додатних плікативних форм, що ускладнюють порушення;.

4. Сприятливими літологічними/петрографічними факторами для утворення пасток ВВ тектонічно екранованого типу є збагачення глинистою речовиною та тонкошаруватість перспективної частини розрізу.

5. Оцінка перспектив нафтогазоносності тектонічно екранованих пасток ВВ повинна базуватися на комплексному аналізі зазначених структурних (тектонічних) і літологічних/петрографічних факторів.

Список використаних джерел:

1. Харченко М.В. Особливості утворення тектонічних порушень та умови екранування тектонічно екранованих пасток вуглеводнів // Нафтова і газова промисловість – 2011. № 3. – С. 10-14.

2. Харченко М.В. Маслюк О.О. Щодо екрануючих властивостей тектонічних порушень // Геологічний журнал. – 2015. – № 3 (352). – С. 44–50.

3. Харченко М.В. Тектонічні порушення як фактор контролю нафтогазоносності// Нафтогазова галузь України - 2016. - № 5. – С. 12-16.

4. Wibberley C. A. J., Yielding G., Toro G. Recent advances in the understanding of fault zone internal structure. a review Geological Society, London, Special Publications 2008, v. 299, p. 5-33.

5. Mizoguchi K. Internal structure and permeability of the Nojima fault, southwest Japan / Mizoguchi K., Hirose T., Shimamoto T., Fukuyama E. // Journal of Structural Geology, 30 (2008). – P. 513–524.

6. Высочанский И.В. Методика выделения перспективных тектонически экранированых ловушек. Экспонат ВДНХ УССР, Киев, 1988. – 4 с.

7. Височанский І.В. Умови формування диз’юнктивно екранованих пасток вуглеводнів і методика їх пошуків // Труди УкрНІІГазу. – 2002. – С. 157-167.

8. Бондарик Т. К. Текстура и деформация глинистых пород / Т.К. Бондарик, А.М. Царева, В. В. Пономарев. – М.: «Недра», 1975. – 168 с.

9. Frédéric Cappa. Modeling fluid transfer and slip in a fault zone with heterogeneous hydromechanical properties in its internal structure/ Frédéric Cappa // Geophys. J. Int. – (2009) 178 (3): 1357-1362 doi:10.1111/j.1365-246X.2009.04291.x

10. Харченко М. В., Маслюк О.О. Основні параметри тектонічних порушень та їх вплив на екрануючі властивості // Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування. Матеріали п’ятої науково-практичної конференції (8–12 жовтня 2018 р., м. Трускавець). Державна служба геології та надр України, Державна комісія України по запасах корисних копалин (ДКЗ). – К.: ДКЗ, 2018. – С. 310-313.

УДК 553.4 (477)

СУЧАСНИЙ СТАН МІНЕРАЛЬНО-СИРОВИННОЇ БАЗИ МІДНИХ ПОКЛАДІВ В УКРАЇНІ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЇХ ОСВОЄННЯ ЯК ОБ'ЄКТІВ КРИТИЧНОЇ СИРОВИНИ

Василенко А.П.[1], *к. геол.-мін. н., с. н. с., alla_vas @ ukr/net; orcid.org/0000-0003-2560-660X;*
Сукач В.В.[2], *д. геол. н., svital@ukr.net, orcid.org/0000-0002-4710-7230*
Сюмар Н.П.[1], *siumar@meta.ua, orcid.org/0000–0001- 5950–7576*
1 – Інститут геологічних наук НАН України, Київ, Україна,
2 – Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М. П. Семененка НАН України, Київ, Україна

За результатами проведених робіт виділено вісім основних полігонів розповсюдження мідних покладів. В межах полігонів проведено аналіз рудовміщуючих формацій, геолого-промислових і мінеральних типів мідного зруденіння. Визначено ступінь вивченості мідних об'єктів та обґрунтовано подальші перспективи їх освоєння.

THE CURRENT STATE OF THE MINERAL RESOURCE BASE OF COPPER DEPOSITS IN UKRAINE AND PROSPECTS FOR THEIR DEVELOPMENT AS CRITICAL RAW MATERIALS

Vasylenko A.[1], *Cand. Sci (Geol.-Min.), senior research scientist, alla_vas@ ukr/net; https://orcid.org/0000-0003-2560-660X;*
Sukach V.[2], *Dr. Sci. (Geol.), svital@ukr.net, orcid.org/0000-0002-4710-7230,*
Siumar N.[1], *siumar@meta.ua, orcid.org/0000–0001–5950–7576,*
1 – Institute of geological sciences, NASU, Kyiv, Ukraine,
2 – M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of NASU, Kyiv, Ukraine

Based on the results of the work carried out, eight main areas of copper deposit distribution have been identified. Within these areas, an analysis was conducted of ore-bearing formations, as well as the geological-industrial and mineral types of copper mineralisation. The extent to which these copper deposits have been studied has been determined, and the prospects for their further development have been substantiated.

Вступ. Стратегія щодо критичної мінеральної сировини (critical mineral strategy), враховуючи її значення, у розвинених країнах світу є основою урядової політики й плану дій для сектору критичних корисних копалин. В Україні мідні руди входять до переліку не тільки критичної, але і стратегічної мінеральної сировини (Постанова Кабінету Міністрів України від 14 липня 2025 р. № 845). Тому вивчення та подальша розробка мідних родовищ має ключове значення для національної економіки, особливо з урахуванням зростаючого попиту на відновлювальну енергетику та високотехнологічне виробництво, а також обороноздатність держави.

Мета роботи. Узагальнити та систематизувати дані стосовно наявних об'єктів різних генетичних та геолого-промислових типів мідних покладів. Виділити та обґрунтувати полігони їх розповсюдження. В межах полігонів провести аналіз рудовміщуючих формацій, мінеральних типів мідного зруденіння та результатів апробації ресурсів мідних об'єктів. Визначити подальші перспективи їх освоєння.

Методи досліджень. Аналіз результатів геологічних та металогенічних досліджень щодо поширення мідних покладів в Україні; визначення та побудова полігонів їх розповсюдження; вивчення рудовміщуючих геологічних формацій, геолого-промислових, мінеральних типів зруденіння в межах полігонів; виділення об'єктів з затвердженими ресурсами як економічно обґрунтованих на даній стадії вивчення. Результати отримані під час виконання проєкту Геологічна служба для Європи (Geological Service for Europe – GSEU) в складі програми ЄС з досліджень та інновацій на 2021–2027 роки. Відповідно, у

роботі використано системний підхід до аналізу вихідних даних і матеріалів, гармонізований із методичними засадами проєкту GSEU.

Результати досліджень. Основні мідні поклади України розташовані на території Українського щита (УЩ), Волино-Подільської металогенічної області, у перехідній зоні між Донецькою та Дніпровською металогенічними областями, а також в Карпатській металогенічній області (рис.1). В межах окремих металогенічних областей виділяються площі (полігони) з групою проявів міді одного і того ж генетичного та геолого-промислового типу, які пов'язані з відповідною рудовміщуючою геологічною формацією. Виділені полігони належать до чотирьох генетичних груп: магматична, гідротермальна, колчеданна та стратиформна.

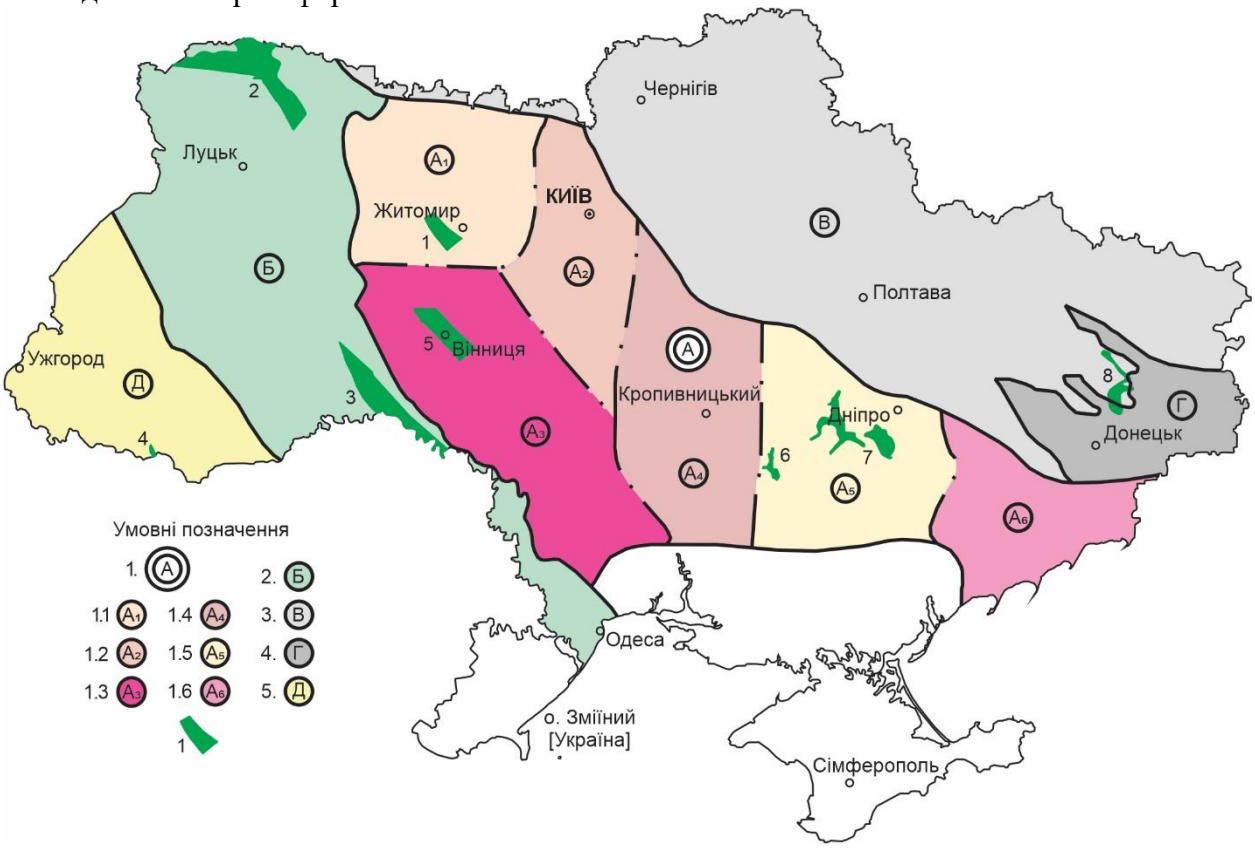


Рис.1. Схема розташування полігонів мідних покладів.

Умовні позначення: 1. Український щит (металогенічні області: 1.1 – Волинська, 1.2 – Білоцерківська, 1.3 – Подільсько-Бузька, 1.4 – Кіровоградська, 1.5 – Придніпровська, 1.6 – Приазовська); 2. Волино-Подільська металогенічна область; 3. Дніпровська металогенічна обл.; 4. Донецька металогенічна область; 5. Карпатська металогенічна область. Мідні полігони:1 – Букинський; 2 – Луків-Ратне; 3 – Поділля; 4 – Мармарош; 5 – Хмільницький; 6 – Західно-Інгулецький; 7 – Верхівцево-Сура; 8 – Бахмут

До магматичної групи належить Букинський полігон який розташований в північно-західній частині УЩ. Для рудопроявів полігону характерна дрібна, розсіяна, вкраплена мінералізація приурочена до контактів габроїдів з вміщуючими породами. Рідко спостерігаються прожилки (до 2 см) та суцільні руди. Потужність зон мінералізації становить 2,6-23,0м. Основні рудні мінерали: піротин, пентландит, халькопірит. Середній вміст міді - 0,36%. Найбільш відомі рудопрояви: Прутівський – перспективні ресурси (кат. P_1), в тис.т (нікель – 130,5; мідь – 95,2; кобальт – 5,1); Железняки - прогнозні ресурси (кат. P_3), в тис.т (нікель –151,0; мідь –14,0; кобальт –3,0) [1].

Обидва об'єкти розташовані в межах одного рудного району (Волинського), належать до геолого – промислового типу мідно-нікелеві руди в основних породах і вважаються перспективними для подальшого вивчення та освоєння. На даний час Держгеонадра видала спецдозвіл на геологічне вивчення, у тому числі дослідно-промислову розробку з

подальшим видобуванням на Прутівському рудопрояві. Більш дрібні базит-ультрабазитові масиви в межах даного полігону також характеризуються наявністю сульфідної мінералізації, але вмісти міді, нікелю, кобальту є незначними і їх подальше вивчення залежить від результатів робіт на Прутівському і Железняківському рудопроявах.

До гідротермальної групи належать полігони Луків-Ратне та Поділля які розташовані в межах Волино-Подільської металогенічної області. Найбільш відомим є полігон Луків-Ратне в межах якого виявлено 11 рудопроявів та рудоносних полів самородної міді. Самородна мідь зустрічається у вигляді включень, агрегатів (5-8 мм) і невеликих прожилків. Сульфідні мідні мінерали (халькозин, халькопірит, борніт та ін.) присутні в незначних кількостях, в співвідношенні 1:9. Середній вміст міді – 0,7%; максимальний – 4,0-5,0% [2]. За результатами проведених пошукових та пошуково-оцінювальних робіт по даних рудопроявах оцінені перспективні та прогнозні ресурси. Найбільш перспективними є: рудопрояв Жиричі – перспективні ресурси (кат. P_1) – 858,93 тис. т; рудопрояв Заліси-Жменьки – перспективні ресурси (кат. P_2) – 659,80 тис. т; Північно-Гірницьке рудоносне поле – перспективні ресурси (кат. P_2) – 1315,9 тис. т; рудопрояв Південно-Рафалівський – перспективні ресурси (кат. P_1) – 510,84 тис. т. По решті рудоносних полів затверджені прогнозні ресурси кат. P_3 обсягом 10514,6 тис. т [1].

Полігон є найбільш перспективним в Україні. На даний час Держгеонадра видала спецдозвіл на геологічне вивчення, у тому числі дослідно-промислову розробку з подальшим видобуванням на рудопроявах Жиричі та Південно-Рафалівському.

У межах полігону Поділля апробація ресурсного потенціалу міді не проводилася. Перспективність покладів обмежується авторською оцінкою за результатами геологозйомочних та пошукових робіт минулих років.

Колчеданна група представлена полігонами: Мармарош (Карпатська металогенічна область), Хмільницький (Волино-Подільська металогенічна область), Західно-Інгулецький та Верхівцево-Сура (Дніпровська металогенічна обл.). На перших трьох, поклади міді пов’язані з метаморфізованими вулканогенно-осадовими породами, метабазитами, ендербітами та чарнокітами і належать до мідноколчеданного геолого-промислового типу. Зруденіння вкраплене, прожилково-вкраплене, іноді в виді гнізд та лінз. Потужність рудних зон змінюється від 1,0 до 12,5 м. Основні рудні мінерали: халькопірит, піротин, мельниковіт, галеніт, сфалерит, пірит. Вміст міді коливається від 0,045 до 3,3% [2].

За результатами геологічного довивчення масштабу 1:50 000 в межах Західно-Інгулецького полігону (Червоношахтарське рудне поле) затверджені перспективні ресурси міді (кат.P_2) в обсязі 41,0 тис. т [1]. В межах полігонів Мармарош та Хмільницький апробація ресурсного потенціалу міді не проводилася. Перспективність покладів обмежується авторською оцінкою за результатами геологозйомочних та пошукових робіт минулих років.

Що стосується полігону Верхівцево-Сура (Дніпровська металогенічна обл.), то тут мідні поклади містяться в основних та ультраосновних магматичних породах, метаморфізованих до зеленосланцевих, які приурочені до лерцоліт – дунітової, габро-діабазової, габро-дуніт-піроксенітової (об'єднані) джеспіліт-кремнисто-сланцевої формацій та коматіїт-джеспіліт-метатолеїтової. Поклади належать до мідно-колчеданного геолого-промислового типу і пов’язані з зеленокам’яними поясами [2, 3].

Прояви міді утворюють жили, прожилки іноді штокверкові тіла та рудні зони потужність яких досягає 26,0 м (середня 2,0-9,0м). Основний рудний мінерал – халькопірит. В асоціації з халькопіритом зустрічається борніт, халькозин, ковелін, кубаніт, самородна мідь. Середній вміст міді - 0,63-0,7%. Найбільш детально вивчені рудопрояви: Варварівський, Південно-Мар’ївський, Червонобалкинський. За результатами геологічного довивчення масштабу 1:50 000 оцінені перспективні ресурси міді (кат. P_2) в таких обсягах: Варварівський – 1085,0 тис. т; Південно-Мар’ївський – 1255,0 тис. т; Червонобалкинський – 2764,0 тис. т [1].

До стратиформної групи належить полігон Бахмут. Полігон розташований у перехідній зоні між Донецькою та Дніпровською металогенічними областями. Структурно полігон охоплює Бахмутську металогенічну зону. Численні поклади мідних руд приурочені до формації мідистих пісковиків і сланців та належать до однойменного геолого-промислового типу. Відомими проявами є Гладосівка, Івангород та Берестяне. Поклади пластової і лінзовидної форми, належать переважно до халькозин-борніт-халькопіритового мінерального типу. Потужність досягає 20-30 м (здебільшого становить 3-5 м). Середній вміст міді – 0,72 %. Основні рудні мінерали: халькозин, борніт, халькопірит, рідше ковелін, куприт, одинокі знахідки самородної міді. Переважає халькозин, що утворює дрібну вкрапленість розміром 0,1-0,2 мм.

У межах даного полігону в останні роки виявлено ще ряд ділянок (Кодемська, Лозівська, Гуртівська та ін.) які за параметрами цілком співставні з параметрами основних родовищ пов'язаних з мідистими пісковиками. За результатами пошукових робіт на цих ділянках затверджено перспективні ресурси (кат.,P_2) в таких обсягах: Кодемська – 111, 0 тис. т; Лозівська – 8,3 тис. т; Гуртівська – 6,6 тис. т [1].

При сучасній кон'юнктурі, рудопрояви міді даного полігону не є конкурентно спроможними, хоча основні підрахункові параметри (потужність та середній вміст) цілком співставні або наближаються до параметрів основних експлуатованих світових родовищ такого типу і в майбутньому, за певних умов, вони можуть становити промисловий інтерес.

Висновки. Аналіз мінерально-сировинної бази міді в Україні демонструє відсутність родовищ з затвердженими запасами, а її численні поклади можна розділити на чотири генетичні групи: магматична, гідротермальна, колчеданна та стратиформна. Цим генетичним групам за складом руд та умовами залягання рудних тіл в свою чергу відповідають такі геолого-промислові типи: мідно-нікелевий в основних породах, самородної міді в осадово-вулканогенних товщах, мідно-колчеданний та мідистих пісковиків і сланців.

Враховуючи закономірності розміщення мідних покладів, мінеральний склад зруденіння та морфологію рудних тіл, наявність відповідних геологічних рудовміщуючих формацій, а також результатів апробації перспективних та прогнозних ресурсів виділено вісім основних полігонів їх розповсюдження та оцінено перспективи подальшого вивчення. Відповідно до прийнятого ранжування (GSEU) за потенціалом рудоносності шість виділених полігонів (Поділля, Мармарош, Хмільницький, Західно-Інгулецький, Верхівцево-Сура, Бахмут) на даний час мають низький рудний потенціал. До групи з середнім потенціалом відносяться полігони Луків-Ратне (локально оцінені запаси) та Букинський за наявністю ліцензій на геологічне вивчення, у тому числі дослідно-промислову розробку з подальшим видобуванням. В Україні відсутні полігони з високим рудним потенціалом, тому що ще не відкриті родовища з реальними запасами.

На даний час більшість «родовищ», рудопроявів, ділянок, перспективних площ мідних покладів, які фігурують в літературі та на картах різного призначення, апробації не проходили і одержали лише авторську оцінку виконавців геологорозвідувальних робіт та інвестиційних проектів щодо їх перспективності та досі не забезпечені відповідним рівнем геологічних досліджень, які б підтвердили економічну доцільність їх подальшого вивчення та розробки. Щоб реалізувати наші міжнародні видобувні амбіції, таку ситуацію необхідно негайно виправляти та приділяти більше уваги можливостям щодо розширення та стимулювання геологічного вивчення, розвідки та видобування такого критичного мінералу як мідь в Україні.

Список використаних джерел:

1. Василенко А.П. Апробація перспективних і прогнозних ресурсів твердих корисних копалин та вдосконалення методики їх оцінки стосовно умов України. Київ. УкрДГРІ, 2018. 172 с.

2.Гурський, Д.С., Єсипчук, К.Ю., Калінін, В.І., Куліш, Є.О., Нечаєв, С.В., Третяков, Ю.І., Шумлянський, В.О. (2006), *Металічні і неметалічні корисні копалини України.* Т. І. *Металічні корисні копалини.* Наук. ред. М.П. Щербак, О.Б. Бобров. Київ-Львів: Центр Європи. С. 225-248.

3.Михайлов В.А., Шевченко В.І., Огар В.В., Курило М.В., Шунько В.В., Грінченко О.В., Омельчук О.В., Михайлова Л.С. Металічні корисні копалини України. ВПЦ «Київський університет», 2007. С. 86-91.

УДК:553.411.068.5(477.87)

ПРИХОВАНІ СКАРБИ ЗАКАРПАТТЯ: ПЕРСПЕКТИВИ УНІКАЛЬНОГО РОЗСИПНОГО ЗРУДНІННЯ КВАСІВСЬКОГО РАЙОНУ

Проць В.*[1]*, *к. геол.-мінер. н., dongeol@ukr.net,*
Маяцький О.*[1]*, *mayc-2017@ukr.net,*
Булавка Л.*[2]*, *pin-1@ukr.net,* ***Ярощук Н.*[3]*,*** *nazikprozik@gmail.com;*
1 – ТОВ «СУЕ «ДОНГЕОЛОГІЯ», м. Тернопіль, Україна,
2 – ФОП БУЛАВКА ЛЮДМИЛА ВАЛЕРІЇВНА, с. Юськівці, Україна,
3 – Львівський національний університет імені Івана Франка, м. Львів, Україна

Визначення перспективи постановки геолого-розвідувальних робіт на площі розвитку золотовмісних і срібновмісних порід на околиці с. Квасово Берігівського району Закарпатської області

HIDDEN TREASURES OF ZACARPATHIA: PROSPECTS OF UNIQUE PLACER MINERALIZATION IN THE KVASOVO AREA

Prots V.*[1]*, *Cand. Sci. (Geol.-Mineral.), dongeol@ukr.net,*
Maiatskyi O.*[1]*, *mayc-2017@ukr.net,*
Bulavka L.*[2]*, *pin-1@ukr.net,* ***Yaroshchuk N.*[3]*,*** *nazikprozik@gmail.com,*
1 –"Dongeologia" LLC, Ternopil, Ukraine,
2 – Sole Proprietorship "Bulavka Liudmyla Valeriivna", Yuskivtsi, Ukraine,
3 – Ivan Franko National University of Lviv, Lviv, Ukraine

Assessing the prospects for initiating geological exploration works in the area of gold- and silver-bearing rocks on the outskirts of Kvasovo village, Berehove district, Zacarpathian region.

Коротка інформація: Квасівське рудне поле є однією з найбільш унікальних золото-срібно-поліметалічних площ Карпатської золотоносної провінції. Це рудне поле безпосередньо межує з відомим Мужіївським золоторудним родовищем і Берегівським рудним полем, утворюючи з ними єдину велику металогенічну систему. З офіціальних відкритих джерел відомо, що спеціальні дозволи на користування надрами на родовища Берегівське та Мужіївське належать фірмі «Avellana Gold LTD» (далі «Avellana»). Зараз «Avellana» поки що не може виробляти золото, срібло чи якийсь окремий метал зі своєї продукції. У компанії кажуть, що це потребує великих інвестицій та побудови кількох окремих виробництв піро- та гідрометалургійного циклу. Тому «Avellana» побудувала у м.Берегові сучасну збагачувальну фабрику. Вона переробляє поліметалеву руду з вмістом золота та срібла та виробляє свинцеві та цинкові концентрати для продажу. У цих концентратах також містяться золото та срібло. Від 40% свинцевого концентрату – це свинець, який після переробки використовується у виробництві переважно акумуляторів. Після виплавки свинцю решта продукту йде для вилучення дорогоцінних металів на спеціалізованих підприємствах, яких поки що немає в Україні. Цинковий концентрат містить від 30% до 55% цинку та може використовуватись для виробництва добрив. На відміну від свинцю, золота та срібла, цинковий концентрат можна переробляти у гідрометалургійному циклі. Наразі компанія продовжує власні технологічні дослідження та ініціювала переговори з представництвом Європейського союзу та ЄБРР щодо можливостей фінансування цього проекту та створення єдиного виробничого циклу з європейськими металургійними підприємствами. Але, як кажуть в «Avellana», стратегічною метою компанії залишаються саме інвестиції в геологічну розвідку та побудову єдиного підземного видобувного комплексу, що поєднує ресурси Мужіївського та Берегівського родовищ. Про Квасівське рудне поле срібло-золотовмістних порід в компанії «Avellana» мова поки не йде (примітка авторів).

На жаль, у зв'язку з закритістю інформації в Держгеонадрах України по спеціальним дозволам на користування надрами на важливі стратегічні ресурси (маємо на увазі ділянки

та родовища золотовмістних порід), важко відповісти на питання чи входить площа вивчення каолінів Квасівської ділянки, про яку піде мова далі, в площу Спецдозвола на Квасівське рудне поле, як про те інформують засоби масової інформації. До цього можна добавити сум з приводу зниклого потенціалу геології Берегівської ГРЕ і архіву, що розплилися по приватних руках.

Вступ. В травні 2026 року ТОВ «МР ІНВЕСТ», у відповідності до умов «Спеціального дозволу на користування надрами № 5890 від 04 лютого 2026 р. проводила бурові роботи на Квасівській ділянці каолінів (рис. 1), безпосередню участь у яких брали автори статті.

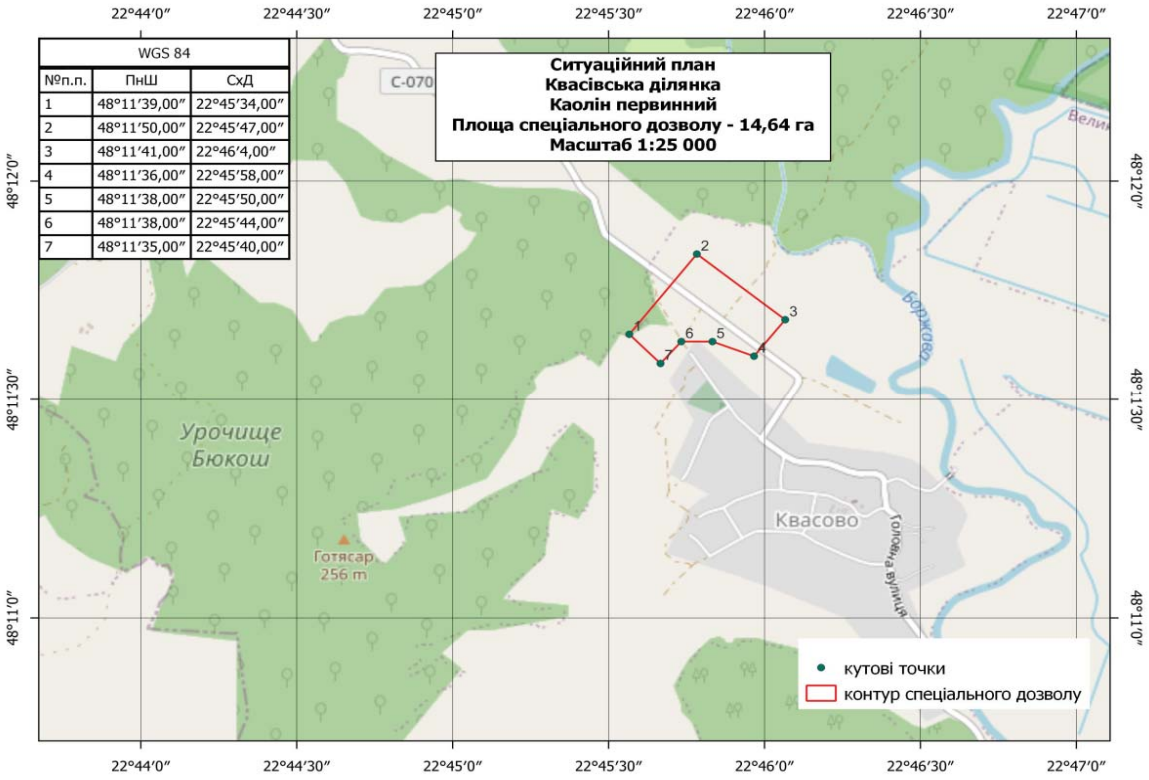


Рис. 1. Ситуаційний план Квасівської ділянки каоліну первинного (з матеріалів аукціону). Масштаб 1:25 000

Виклад основного матеріалу. В процесі буріння геологічних свердловин у підошві корисної копалини (каоліну) в декількох свердловинах були розкриті підстеляючі тонкодисперсні сірі піщано-глинисті породи, які попередньо (але не остаточно - *примітка авторів)* були визначені як мілоніти з інтенсивним зрудненням, переважно у вигляді піріту, марказіту і, можливо, мінералів срібла, золота та інших рудних утворень. Мілоніти з активною рудною мінералізацією були відмічені в свердловинах: К-3 (19,3-22м), К-14 (13,3-18м) [рис. 2, 3], К-21 (12-18м) [рис. 4], К-34 (28-29м) [рис. 5, 6], К-36 (19,2-22м) та в інших.

По керну свердловини К-34, відібраного в інтервалі глибин 28,5-29 м (0,5 м) була відібрана проба вагою 8 кг, матеріал якої був подрібнений до розміру частинок не більше 5 мм, потім проквартований і з якого була відібрана наважка вагою 200 гр, яка розділена ситами на 3 фракції: 0,5-0,25 мм, 0,25-0,1 мм та < 0,1; далі були проведені загальні дослідження під бінокулярним мікроскопом і зроблені фотографії. Треба відмітити що у всіх 3-х групах відмічається активна мінералізація у вигляді піріту, марказіту та інших рудних утворень (не визначались – *примітка авторів).*

Нижче представлені фотографії проведених досліджень, які підтверджують наявність рудної мінералізації в підстеляючих породах Квасівської ділянки каолінів.



Рис. 2. Керн зі свердловини К-14 (глибина 13,3-16м) з рудною мінералізацією (темно-сірі плями). Масштаб 1:5



Рис. 3. Керн зі свердловини К-14 (глибина 16-18м) з рудною мінералізацією (темно-сірі плями). Масштаб 1:5



Рис. 4. Керн зі свердловини К-21 (глибина 12-18 м) з рудною мінералізацією (темно-сірі плями). Масштаб 1:10



Рис. 5. Керн зі свердловини К-34 (глибина 28-29 м) з рудною мінералізацією (темно-сірі плями). Масштаб 1:3



Рис. 6. Зразок з керну зі свердловини К-34 (глибина 28-29 м) з рудною мінералізацією (сріблясто-сірі плями). Масштаб 1:1

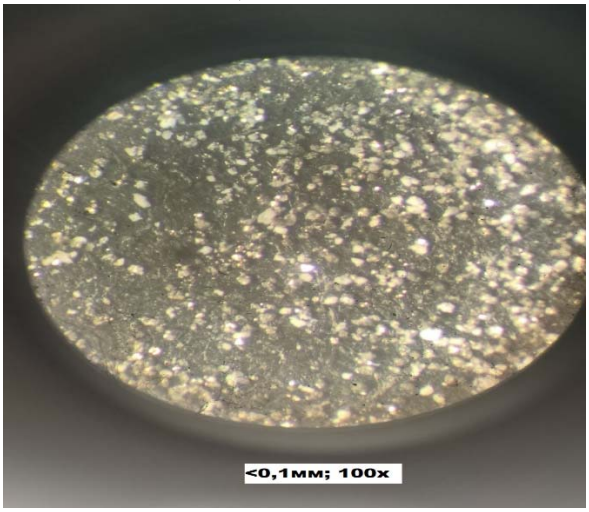


Рис. 7. Зерна (<0,1мм) мілоніту з керну свердловини К-34 (глибина 28,5-29 м) з рудною мінералізацією (темно-сірий матеріал). Збільшення – 100х.

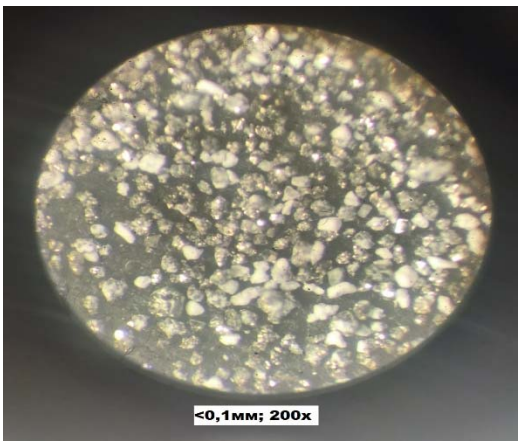


Рис. 8. Зерна (<0,1мм) мілоніту з керну свердловини К-34 (глибина 28,5-29 м) з рудною мінералізацією (сріблясто-сірий матеріал). Збільшення – 200х.



Рис. 9. Зерна (0,1-0,25мм) мілоніту з керну свердловини К-34 (глибина 28,5-29 м) з рудною мінералізацією (сріблясто-сірий наліт на світлому зерні). Збільшення – 400х.



Рис. 10. Зерна (0,25-0,5мм) мілоніту з керну свердловини К-34 (глибина 28,5-29 м) з рудною мінералізацією (сріблясто-сірий наліт на світлому зерні). Збільшення – 400х.

Автори статті не претендують на заклик до термінових пошуків та геологічної розвідки пошуків корінних чи розсипних родовищ золота і срібла в Квасівському районі, а тільки надають сигнал геологорозвідувальним організаціям і гірничо-добувним підприємствам, тій же згаданії вище фірмі «Avellana Gold LTD», які цим займаються, звернути увагу на підстеляючи квасівські каоліни породи, доступ до яких можна одержати або повсюдним шліховим опробовуванням берегової зони р. Боржава, або розкопуючи старі шурфи, чи копаючи нові і пробуючи відмивати пухкі породи до сірого шліху з подальшим вивченням в лабораторії, при цьому слід пам'ятати, що для такого виду робіт необхідно отримати Спецдозвіл на користування надрами, або організувати ГРР за рахунок державних коштів спеціалізованими підприємствами, про що недавно у своїх деклараціях вказала Державна геологічна служба України.

Випереджаючи питання - чому б цим не зайнятися ТОВ «МР ІНВЕСТ», яке на частину цієї площі має Спецдозвіл, можна відповісти тим, що по-перше – цей Спецдозвіл наданий на вивчення безпосередньо каолінів, а для пошуків золота, срібла і інших рудних корисних копалин, згідно Кодексу України про надра, апріорі, а по-друге – необхідно оформляти новий Спецдозвіл, а це тривала процедура аукціонів і інших складних організаційних заходів, пов'язаних з відповідним фінансуванням. На сьогодення ТОВ «МР ІНВЕСТ» поки не планує розвивати даний напрямок бізнесу. Але для таких підприємств, як «Avellana Gold LTD», це буде цікаво і перспективно корисно.

Висновок. Цією статтею автори привертають увагу зацікавлених осіб та самої держави, які б могли інвестувати у вивчення унікального як корінного, так і розсипного зрудніння Квасівського району, а надалі отримувати прибуток, збудувати тут промисловий

індустріальний центр, створити робочі місця та покращити соціально-економічну обстановку в регіоні. До цього необхідно додати дружні сусідні країни, які представляють європейську економічну спільноту, куди вже давно прагне наша держава.

Список використаних джерел:

1. Кодекс України про надра Кодекс України про надра (зі змінами до 2026 р.). – Київ: Верховна Рада, 1994.

2. Васильєв І.Н. «Отчет о качественной оценке каолинов Закарпатья 1962-1965гг.» Трест «Київгеологія». Закарпатська геологічна експедиція. - Київ, 1965.

3. Маяцький О.Б. Проект на виконання геологорозвідувальних робіт: «Пошукові, пошуково-оцінювальні та розвідувальні роботи на Квасівській ділянці каоліну первинного в Берегівському районі Закарпатської області». Тернопіль. ТОВ «ДОНГЕОЛОГІЯ», 2026.

4. Зіновія Воронович «Avellana Gold: Ми все ще збиткові, але працюємо». 28.04.2025. Еспресо.Захід: інтернет-видання. 2025.URL: nadra.info

5. Інші матеріали з інтернету.

УДК 553.04:330.524

ВИЗНАЧЕННЯ КРИТИЧНОСТІ МІНЕРАЛЬНОЇ СИРОВИНИ: КРИТЕРІЇ ТА НАЦІОНАЛЬНІ ПІДХОДИ

***Андрєєва О.О.*[1,2]**, *к. геол. н.к, ORCID ID 0000-0001-6849-5749, andreeva_ea@ukr.net;*
***Бучинська В.О.*[1,2]**, *viktoriia.buchynska@gmail.com,*
1 – ННІ "Інститут геології" КНУ імені Тараса Шевченка, Київ, Україна,
2 – ГО "Спілка геологів України", Київ, Україна

Розглянуто підходи до визначення критичної та стратегічної мінеральної сировини і формування відповідних національних переліків. Метою дослідження є порівняння критеріїв оцінювання критичності та визначення основних чинників, що зумовлюють відмінності між національними підходами. Проаналізовано практику ЄС, США, Канади, Австралії, Великої Британії, Індії, Японії, Китаю та Туреччини. Незважаючи на відмінності у термінології та методах оцінювання, найчастіше критичність визначається через поєднання економічної або стратегічної важливості мінеральної сировини та ризику її постачання. Додатково можуть враховуватись ресурсна забезпеченість, імпортозалежність, концентрація видобутку і переробки, прогнозований попит, можливості заміщення та рециклінгу, геополітичні чинники й значення сировини для новітніх технологій. Склад національних переліків відображає специфіку ресурсної бази, структуру промисловості, пріоритети розвитку та місце країни у глобальних ланцюгах постачання. Наведено приклади підходів різних країн до державної підтримки проєктів у сфері критичної та стратегічної сировини.

Ключові слова: критична мінеральна сировина, національні переліки, державна ресурсна політика

ASSESSING THE CRITICALITY OF MINERAL RESOURCES: CRITERIA AND NATIONAL APPROACHES

***Andrieieva O.*[1,2]**, *Cand. Sci. (Geol.), ORCID ID 0000-0001-6849-5749, andreeva_ea@ukr.net;*
***Buchynska V.*[1,2]**, *viktoriia.obuch@gmail.com;*
1 – "Institute of Geology" Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine,
2 – Ukrainian Association of Geologists, Kyiv, Ukraine

This study examines approaches to identifying critical and strategic mineral resources and compiling corresponding national lists. The aim of the research is to compare the criteria for assessing criticality and to identify the main factors underlying the differences between national approaches. The practices of the EU, the US, Canada, Australia, the UK, India, Japan, China and Turkey have been analysed. Despite differences in terminology and assessment methods, criticality is most often determined by a combination of the economic or strategic importance of a mineral resource and the risk to its supply. Additional factors that may be taken into account include resource availability, import dependency, the concentration of extraction and processing, projected demand, substitution and recycling potential, geopolitical factors, and the importance of the raw material for cutting-edge technologies. The structure of national lists reflects the specific characteristics of the resource base, the structure of industry, development priorities, and the country's position in global supply chains. Examples are provided of different countries' approaches to state support for projects in the field of critical and strategic raw materials.

Keywords: critical mineral resources, national lists, governmental natural resource policy

Вступ. У сучасних умовах енергетичного переходу, розвитку високотехнологічної промисловості, цифровізації та загострення геополітичних ризиків особливого значення набувають критичні та стратегічні види мінеральної сировини. Вони використовуються у виробництві акумуляторів, електроніки, обладнання для відновлюваної енергетики, засобів зв'язку, транспортних систем, оборонної техніки та іншої продукції високотехнологічних галузей. У зв'язку з цим надійність постачання окремих видів мінеральної сировини розглядається державами як складова економічної, технологічної та національної безпеки.

В різних країнах відрізняються термінологія, пов'язана з критичною та стратегічною мінеральною сировиною, самі переліки сировини, а також підходи до визначення її критичності.

Відмінності у визначенні критичності зумовлені не лише методикою оцінювання, а й особливостями ресурсної бази країни, структурою промисловості, рівнем імпортозалежності, технологічними пріоритетами, можливостями заміщення та рециклінгу, концентрацією видобутку і переробки, а також місцем країни у глобальних ланцюгах створення вартості.

Мета. Метою роботи є аналіз та порівняння підходів до визначення критичності мінеральної сировини, які застосовуються різними країнами, з урахуванням відмінностей у критеріях, методиках оцінювання та національних пріоритетах.

Переліки критичної та стратегічної сировини. Протягом останніх років підходи до формування переліків критичної мінеральної сировини активно розвиваються. Різні країни створюють власні переліки та регулярно їх переглядають (табл. 1), використовуючи їх для визначення пріоритетів у розвитку мінерально-сировинної бази та як основу для формування державних програм геологорозвідувальних робіт, стимулювання видобутку та переробки, диверсифікації постачання, розвитку рециклінгу, формування резервів та міжнародного співробітництва.

Таблиця 1

Переліки критичної та стратегічної сировини і основні документи, що їх визначають

Країна/об'єднання	Кількість видів мінеральної сировини в переліку	Основний документ або джерело
Європейський Союз	34 критичних, з них 17 стратегічних мінералів	Regulation (EU) 2024/1252 (Critical Raw Materials Act)
США	60 критичних мінералів	2025 List of Critical Minerals; Energy Act of 2020
Канада	34 критичні мінерали	Canada's Critical Minerals List (updated 2024); The Canadian Critical Minerals Strategy (2022)
Австралія	31 критичний мінерал та 5 стратегічних	Australia's Critical Minerals List and Strategic Materials List (updated 2024); Critical Minerals Strategy 2023–2030
Велика Британія	34 критичні мінерали	Vision 2035: Critical Minerals Strategy (2025)
Індія	30 критичних мінералів	Critical Minerals for India (2023); National Critical Mineral Mission (2025)
Туреччина	37 критичних мінералів, 10 стратегічних	Critical and Strategic Minerals Report (2025)
Японія	35 критичні мінерали	METI (2023); JOGMEC
Китай	24 стратегічних мінералів	National Mineral Resources Plan (2016-2020)

Відмінності між країнами проявляються вже на рівні підходів до формування таких переліків: в одних випадках вони ґрунтуються на системній оцінці критичності, тоді як в інших поєднують її з довгостроковими технологічними та стратегічними пріоритетами. (табл. 2)

Таблиця 2

Основні критерії, що використовуються при визначенні критичності

Група критеріїв	Основні показники	Застосування у національних підходах
Ризик постачання	концентрація видобутку і переробки, імпортозалежність, надійність ланцюгів постачання	ЄС, США, Канада, Туреччина
Економічна важливість	значення для промисловості, ВВП	ЄС, США, Велика Британія
Ресурсозабезпеченість	запаси, ресурси та їх концентрація	Австралія, Індія, Туреччина, Китай
Попит	поточне та прогнозоване зростання попиту, потреби нових технологій	ЄС, США, Індія, Туреччина
Заміщення	можливість заміни сировини іншими матеріалами або технологіями	ЄС, США, Туреччина
Вторинна сировина	можливість рециклінгу та переробки	ЄС, США, Канада, Японія, Туреччина, Китай
Геополітичні чинники	торговельні обмеження, політична стабільність, концентрація постачання	ЄС, США, Японія, Туреччина, Китай
Національна безпека	важливість для оборонної промисловості, стратегічні технології, енергетична безпека	США, Китай, Японія, Індія

Особливості окремих національних підходів. Європейський Союз має одну з найбільш стандартизованих систем оцінювання критичності. Відповідно до Critical Raw Materials Act (CRMA), критичність сировини визначається за двома основними критеріями – економічною важливістю та ризиком постачання. Водночас стратегічні мінерали визначаються з урахуванням їх значення для технологій, оборони та аерокосмічної галузі, а також прогнозованого зростання попиту (Regulation (EU) 2024/1252, 2024).

Оновлений перелік США 2025 року демонструє інший підхід до оцінювання критичності порівняно з європейським. Його основою є оцінка економічних наслідків можливих перебоїв у зовнішньому постачанні сировини. Геологічна служба США (USGS) проаналізувала понад 1200 сценаріїв для 84 ланцюгів постачання сировини та оцінила їхній потенційний вплив на понад 400 галузей. Після врахування ймовірності кожного сценарію визначався потенційний вплив на ВВП США. Мінерали, для яких ризик був достатньо високим, рекомендувалися до включення до переліку. Для сировини з нижчим розрахунковим ризиком додатково перевіряється наявність єдиного внутрішнього виробника (Nassar, N. T., 2025; Critical Mineral Resources and Methodology Updates, 2025).

Канада визначає критичну мінеральну сировину з урахуванням трьох основних критеріїв: ризику постачання, можливості внутрішнього видобутку та переробки, значення сировини для економічної й національної безпеки. Додатково враховується її роль у переході до низьковуглецевої та цифрової економіки, а також у глобальних ланцюгах постачання (Canada’s Critical Minerals List, 2024).

Австралія визначає критичну мінеральну сировину з урахуванням її значення для пріоритетних технологій, потенціалу внутрішнього видобутку, попиту з боку стратегічних партнерів та ризиків порушення ланцюгів постачання (Australia's Critical Minerals Strategy, 2024).

Велика Британія формує перелік залежно від важливості сировини для економіки, національної безпеки та переходу до чистої енергетики. Основні пріоритети: зменшення залежності від зовнішніх постачань через розвиток власного видобутку, переробки та рециклінгу, а також диверсифікація міжнародних ланцюгів постачання. Окремою особливістю є запровадження переліку «мінералів зростання» (Growth Minerals List), що враховує майбутній попит з боку пріоритетних секторів економіки. (Resilient Minerals, 2023).

Під час формування власного переліку критичних мінералів Індія проаналізувала переліки критичних мінералів інших країн, а потім врахувала власну ресурсну базу, імпортозалежність, економічне та стратегічне значення мінералів і ризики їх постачання (Critical Minerals for India, 2023).

У Туреччині критичність мінералів визначають з урахуванням ризиків постачання, цін і попиту, стану переробки та екологічних ризиків, а також даних про виробництво і зовнішню торгівлю (Göçmen Polat, E., 2023; Türkiye critical and strategic minerals report, 2025).

Японія дуже залежить від імпорту мінеральної сировини, тому при визначенні критичних мінералів основна увага приділяється тому, наскільки стабільним є їх постачання для японської промисловості. Міністерство економіки, торгівлі та промисловості (METI) враховує концентрацію видобутку й переробки, залежність від окремих країн-постачальників, геополітичні ризики, очікуваний попит і можливий дефіцит у майбутньому. (Nagahara, M., 2025)

Китайський підхід до ресурсної безпеки доцільно розглядати у ширшому контексті державного промислового та ресурсного планування (п'ятирічні плани). Значну роль відіграють розвиток внутрішньої переробки, забезпечення стратегічних запасів, зарубіжні інвестиції та регулювання зовнішньої торгівлі. У сучасній політиці Китаю важливим інструментом стало посилення експортного контролю щодо окремих видів мінеральної сировини і продукції їх переробки. (National Mineral Resources Plan, 2017; Yan, W., 2021)

Порівняння підходів різних країн показує, що критичність мінеральної сировини визначається не лише її значенням для економіки, а й конкретними ризиками та умовами кожної країни, зокрема імпортозалежністю, концентрацією видобутку й переробки, ресурсною забезпеченістю, прогнозованим попитом і стратегічним значенням.

Критична сировина як об'єкт державної ресурсної політики. Сучасна державна політика у сфері критичної та стратегічної сировини передбачає підтримку проєктів на різних етапах ланцюга створення вартості — від геологічного вивчення та видобутку до переробки, рециклінгу й розвитку необхідної інфраструктури. Основними інструментами є пряме та грантове фінансування, пільгове кредитування, державні гарантії, спеціальні фінансові механізми, податкові стимули та фінансування інфраструктурних проєктів.

У Канаді федеральний уряд у 2025–2026 рр. надає фінансову підтримку проєктам видобутку графіту, виробництва скандію, переробки та рафінування літію, рециклінгу рідкісноземельних елементів і розвитку електроенергетичної інфраструктури для цих проєктів, використовуючи, зокрема, боргове та акціонерне фінансування, а також інші інструменти (Spring Economic Update 2026).

В Австралії уряд використовує поєднання грантового фінансування, спеціальних фінансових інструментів та податкового стимулювання. У 2024–2025 рр. у межах програми International Partnerships in Critical Minerals було оголошено 40 млн австралійських доларів грантового фінансування для восьми проєктів, для підтримки стратегічних проєктів також застосовується Critical Minerals Facility. Крім того, з 1 липня 2027 р. передбачено

10-відсотковий відшкодовуваний податковий кредит на визначені витрати з виробництва та переробки критичних мінералів. (Australian Government, 2024)

У США Міністерство енергетики у серпні 2026 р. оголосило про федеральне фінансування на загальну суму 500 млн американських доларів для семи відібраних проєктів з переробки критичної сировини, виробництва матеріалів для батарей та рециклінгу. (U.S. Department of Energy, 2026)

У Європейському Союзі план RESourceEU передбачає мобілізацію до 3 млрд євро протягом 12 місяців для підтримки конкретних проєктів, спрямованих на диверсифікацію постачання критичної сировини, із використанням фінансових інструментів для зниження інвестиційних ризиків (European Commission, 2025). У вересні 2026 року Європейська комісія також оголосила про створення European Corporation on Critical Raw Materials, покликаної сприяти закупівлі та накопиченню критичної сировини.

Висновки. Єдиного універсального підходу до визначення критичності мінеральної сировини не існує. Найчастіше критичність оцінюють з урахуванням економічної ролі сировини та ризику її постачання, однак конкретні показники, критерії та методи їх оцінювання можуть відрізнятися між собою у контексті кожної країни окремо.

На формування переліків безпосередньо впливають ресурсна база країни, структура промисловості, імпортозалежність, технологічні пріоритети, можливості заміщення та рециклінгу, а також питання економічної та національної безпеки.

Важливим є також зв'язок між оцінюванням критичності та практичними інструментами державної політики. Перелік критичної сировини може бути основою для визначення пріоритетів геологорозвідувальних робіт, підтримки видобутку та переробки, розвитку рециклінгу, формування резервів, диверсифікації постачання та міжнародного співробітництва.

Для України при формуванні власного переліку критичної мінеральної сировини важливо враховувати не лише міжнародний досвід, а й особливості національної мінерально-сировинної бази, структуру промисловості, рівень імпортозалежності та перспективи розвитку власного видобутку і переробки. Окремим чинником є потреби відновлення та розвитку економіки.

Список використаних джерел:

1. Australian Government, Department of Industry, Science and Resources. (2023). *Australia's Critical Minerals Strategy 2023–2030*. https://www.industry.gov.au/publications/critical-minerals-strategy-2023-2030
2. Australian Government, Department of Industry, Science and Resources. (2024, December 6). *$40 million for international critical minerals partnerships*. https://www.industry.gov.au/news/40-million-international-critical-minerals-partnerships
3. Department of Energy. (2026, August 20). *Energy Department announces $500 million to secure America's critical mineral and battery supply chains*. U.S. Department of Energy. https://www.energy.gov/articles/energy-department-announces-500-million-secure-americas-critical-mineral-and-battery
4. European Commission. (2025, December 3). *New measures to secure raw materials and strengthen the EU's economic security*. https://commission.europa.eu/news-and-media/news/new-measures-secure-raw-materials-and-strengthen-eus-economic-security-2025-12-03_en
5. European Parliament & Council of the European Union. (2024). *Regulation (EU) 2024/1252 of 11 April 2024 establishing a framework for ensuring a secure and sustainable supply of critical raw materials (Critical Raw Materials Act)*. *Official Journal of the European Union*. http://data.europa.eu/eli/reg/2024/1252/oj
6. Göçmen Polat, E., Yücesan, M., & Gül, M. (2023). A comparative framework for criticality assessment of strategic raw materials in Turkey. *Resources Policy, 82*, 103511. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.103511

7. Government of Canada. (2024). *Canada's Critical Minerals List*. Natural Resources Canada. https://www.canada.ca/en/natural-resources-canada/news/2024/06/government-of-canada-releases-updated-critical-minerals-list.html

8. Government of Canada. (2026). *Spring Economic Update 2026: Chapter 1—Building Canada: All for Canada*. https://budget.canada.ca/update-miseajour/2026/report-rapport/chap1-en.html

9. Ministry of Mines, Government of India. (2023). *Critical Minerals for India: Report of the Committee on Identification of Critical Minerals*. https://mines.gov.in/admin/download/649d4212cceb01688027666.pdf

10. National Development and Reform Commission. (2017, May 11). *National Mineral Resources Plan (2016–2020)[全国矿产资源规划（2016—2020年）]*. https://www.ndrc.gov.cn/fggz/fzzlgh/gjjzxgh/201705/t20170511_1196755_ext.html

11. Nagahara, M. (2025). 各国および地域連合等の重要鉱物・物質リスト概論 [Introduction of the lists of critical minerals and materials around the world]. *金属資源レポート (Metal Resources Report), 54*(1). https://journal.jogmec.go.jp/metal/info-reports/info-reports_00857.html

12. Nassar, N. T., Pineault, D., Allen, S. M., McCaffrey, D. M., Padilla, A. J., Brainard, J. L., Bayani, M., Shojaeddini, E., Ryter, J. W., Lincoln, S., & Alonso, E. (2025). *Methodology and technical input for the 2025 U.S. List of Critical Minerals—Assessing the potential effects of mineral commodity supply chain disruptions on the U.S. economy* (Version 2.0, 2026; U.S. Geological Survey Open-File Report 2025–1047). U.S. Geological Survey. https://doi.org/10.3133/ofr20251047

13. Republic of Türkiye, Ministry of Energy and Natural Resources. (2025). *Türkiye critical and strategic minerals report*. https://enerji.gov.tr/Media/Dizin/TKDB/tr/Belgeler/Critical_and_Strategic_Minerals_Report_Eng.pdf

14. UK Department for Business and Trade. (2023). *Resilient Minerals, Insulated Supply Chains: Critical Minerals Strategy*. https://www.gov.uk/government/publications/uk-critical-minerals-strategy

15. U.S. Geological Survey. (2025). *Critical Mineral Resources and Methodology Updates*. U.S. Department of the Interior. https://www.usgs.gov/centers/nmic/critical-minerals

16. Yan, W., Wang, Z., Cao, H., Zhang, Y., & Sun, Z. (2021). Criticality assessment of metal resources in China. *iScience, 24*(6), 102524. https://doi.org/10.1016/j.isci.2021.102524

References

Australian Government, Department of Industry, Science and Resources. (2023). *Australia's Critical Minerals Strategy 2023–2030*. https://www.industry.gov.au/publications/critical-minerals-strategy-2023-2030

Australian Government, Department of Industry, Science and Resources. (2024, December 6). *$40 million for international critical minerals partnerships*. https://www.industry.gov.au/news/40-million-international-critical-minerals-partnerships

Department of Energy. (2026, August 20). *Energy Department announces $500 million to secure America's critical mineral and battery supply chains*. U.S. Department of Energy. https://www.energy.gov/articles/energy-department-announces-500-million-secure-americas-critical-mineral-and-battery

European Commission. (2025, December 3). *New measures to secure raw materials and strengthen the EU's economic security*. https://commission.europa.eu/news-and-media/news/new-measures-secure-raw-materials-and-strengthen-eus-economic-security-2025-12-03_en

European Parliament & Council of the European Union. (2024). *Regulation (EU) 2024/1252 of 11 April 2024 establishing a framework for ensuring a secure and sustainable supply of critical raw materials (Critical Raw Materials Act). Official Journal of the European Union*. http://data.europa.eu/eli/reg/2024/1252/oj

Göçmen Polat, E., Yücesan, M., & Gül, M. (2023). A comparative framework for criticality assessment of strategic raw materials in Turkey. *Resources Policy, 82*, 103511. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.103511

Government of Canada. (2024). *Canada's Critical Minerals List*. Natural Resources Canada. https://www.canada.ca/en/natural-resources-canada/news/2024/06/government-of-canada-releases-updated-critical-minerals-list.html

Government of Canada. (2026). *Spring Economic Update 2026: Chapter 1—Building Canada: All for Canada*. https://budget.canada.ca/update-miseajour/2026/report-rapport/chap1-en.html

Ministry of Mines, Government of India. (2023). *Critical Minerals for India: Report of the Committee on Identification of Critical Minerals*. https://mines.gov.in/admin/download/649d4212cceb01688027666.pdf

National Development and Reform Commission. (2017, May 11). *National Mineral Resources Plan (2016–2020)[全国矿产资源规划（2016—2020年）]*. https://www.ndrc.gov.cn/fggz/fzzlgh/gjjzxgh/201705/t20170511_1196755_ext.html [in Chinese]

Nagahara, M. (2025). 各国および地域連合等の重要鉱物・物質リスト概論 [Introduction of the lists of critical minerals and materials around the world]. *金属資源レポート (Metal Resources Report), 54*(1). https://journal.jogmec.go.jp/metal/info-reports/info-reports_00857.html [in Japanese]

Nassar, N. T., Pineault, D., Allen, S. M., McCaffrey, D. M., Padilla, A. J., Brainard, J. L., Bayani, M., Shojaeddini, E., Ryter, J. W., Lincoln, S., & Alonso, E. (2025). *Methodology and technical input for the 2025 U.S. List of Critical Minerals—Assessing the potential effects of mineral commodity supply chain disruptions on the U.S. economy* (Version 2.0, 2026; U.S. Geological Survey Open-File Report 2025–1047). U.S. Geological Survey. https://doi.org/10.3133/ofr20251047

Republic of Türkiye, Ministry of Energy and Natural Resources. (2025). *Türkiye critical and strategic minerals report*. https://enerji.gov.tr/Media/Dizin/TKDB/tr/Belgeler/Critical_and_Strategic_Minerals_Report_Eng.pdf

UK Department for Business and Trade. (2023). *Resilient Minerals, Insulated Supply Chains: Critical Minerals Strategy*. https://www.gov.uk/government/publications/uk-critical-minerals-strategy

U.S. Geological Survey. (2025). *Critical Mineral Resources and Methodology Updates*. U.S. Department of the Interior. https://www.usgs.gov/centers/nmic/critical-minerals

Yan, W., Wang, Z., Cao, H., Zhang, Y., & Sun, Z. (2021). Criticality assessment of metal resources in China. *iScience, 24*(6), 102524. https://doi.org/10.1016/j.isci.2021.102524

УДК 553.63:550.42(477.83)

ВМІСТ ЛІТІЮ У СОЛЯХ ТА РОЗСОЛАХ СТЕБНИЦЬКОГО РОДОВИЩА

Бельський В.М.[1]*, к. геол. н., belskyi_vm@ukr.net;*
Хевпа З.З.[2]*, к. геол. н., zenonzxv@gmail.com;*
Кульчицька Г.О.[1]*, д. геол. н., kulchechanna@gmail.com;*
Швайка І.А.[1]*, к. геол. н., ishvaika@gmail.com;*
Швайка І.Д.[1]*;* ***Проскурка Л.І.***[1]***,***
1 – Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України, Київ, Україна,
2 – ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища» НАН України, Київ, Україна

У роботі висвітлено результати дослідження пластових розсолів та евапоритових мінералів із Стебницького родовища на вміст Li. Проаналізовано поширення цього рідкісного елементу. Виявлено чітку кореляцію вмісту Li з сульфатами Mg. Встановлено, що попри нижчий за кларк вміст Li може бути вилучений як супутній продукт в разі отримання Mg.

Ключові слова: літій, калійні солі, сульфати магнію, розсіл, Стебницьке родовище.

LITHIUM CONTENT IN SALTS AND BRINES OF THE STEBNYK DEPOSIT

Belskyi V.[1]*, PhD (Geol.), belskyi_vm@ukr.net;*
Khevpa Z.[2]*, PhD (Geol.), zenonzxv@gmail.com;*
Kulchytska H.[1]*, Dr. Sc. (Geol.), kulchechanna@gmail.com;*
Shvaika I.[1]*, PhD (Geol.), ishvaika@gmail.com;*
Shvaika I.[1]*;* ***Proskurka L.***[1]***,***
1 – M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation NASU, Kyiv, Ukraine,
2 – State Institution "Institute of Geochemistry of Environment" NASU, Kyiv, Ukraine

This paper presents the results of a study on the lithium content of formation brines and evaporite minerals from the Stebnyk deposit. The distribution of this rare element is analyzed. A clear correlation between lithium content and magnesium sulfates is identified. It is established that, despite the content being below the crustal average (clarke value), lithium could be extracted as a by-product during magnesium production.

Keywords: lithium, potash salts, magnesium sulfates, brine, Stebnyk deposit.

Соленосні відклади міоцену в Передкарпатському прогині відомі ще з 18 ст., та справжній бум їх дослідження припадає на другу половину минулого віку (Lazarenko et al. 1962; Matkovskyi 2003; Matkovskyi et al. 2009), синхронно з експлуатацією родовищ, і суттєво скоротився згодом, обмежившись увагою до наслідків експлуатації (Diakiv 2018). Хоча калійні солі нині не належать ні до першої, ні до другої черги пріоритетності корисних копалин, вони залишаються предметом стратегічного інтересу (Cabinet of Ministers of Ukraine 2026, p. 22). Тому вважаємо, що необхідні нові дослідження складу важливої стратегічної сировини, щоб нагадати про перспективи та проблеми розвитку галургійної галузі. Зокрема, нині є змога детальніше дослідити і мінеральний склад солей, і вміст в них рідкісних елементів. Останні можуть створити загрозу для довкілля або стати побічним продуктом експлуатації родовища.

Об`єктом нашого дослідження стали руди та розсоли комплексного Стебницького родовища, розташованого у внутрішній зоні Передкарпатського прогину. Зразки відібрані пробовідбірником із розсолів хвостосховищ № 1 та № 2 з глибини 1 метр та карстових провалів, а саме № 27, 30 та 32, також із гідроізоляційних перемичок і зумпфів на вентиляційному та першому горизонті рудника №1. Проби солей відібрані штуфним методом із пласта № 19 рудника № 1 Стебницького калійного родовища.

Для руд характерний полімінеральний склад солей (понад півтора десятка мінеральних видів) з домінування сульфатів, що робить їх особливо цінними. Мінеральні агрегати легко розрізняються за фізичними властивостями, тому діагностувати мінеральний склад руд на макрорівні не так складно. Та більша частина руд характеризується

полімінеральними включеннями, проростаннями, перешаровуванням та тектонічними деформаціями на мікрорівні, що вимагає спеціального лабораторного обладнання для ідентифікації мінералів.

За допомогою електронного мікроскопа JXA-733 (JEOL) з енергодисперсійним мікроаналізатором у 4 пробах руд із Рудника № 1 (табл. 1) ідентифіковано такі мінерали: галіт (**Hl**), сильвін (**Syl**), полігаліт (**Plhl**), кізерит (**Ksr**), каїніт (**Kai**), гексагідрит (**Hhy**), лангбейніт (**Lbn**), леоніт (**Leo**) та інтеркристаліти леоніт-кізериту (**Leo+Ksr**) (рис. 1, 2). Також трапляються дрібні піщинки кварцу (**Qz**) та уламки засоленого аргіліту (**arg**).

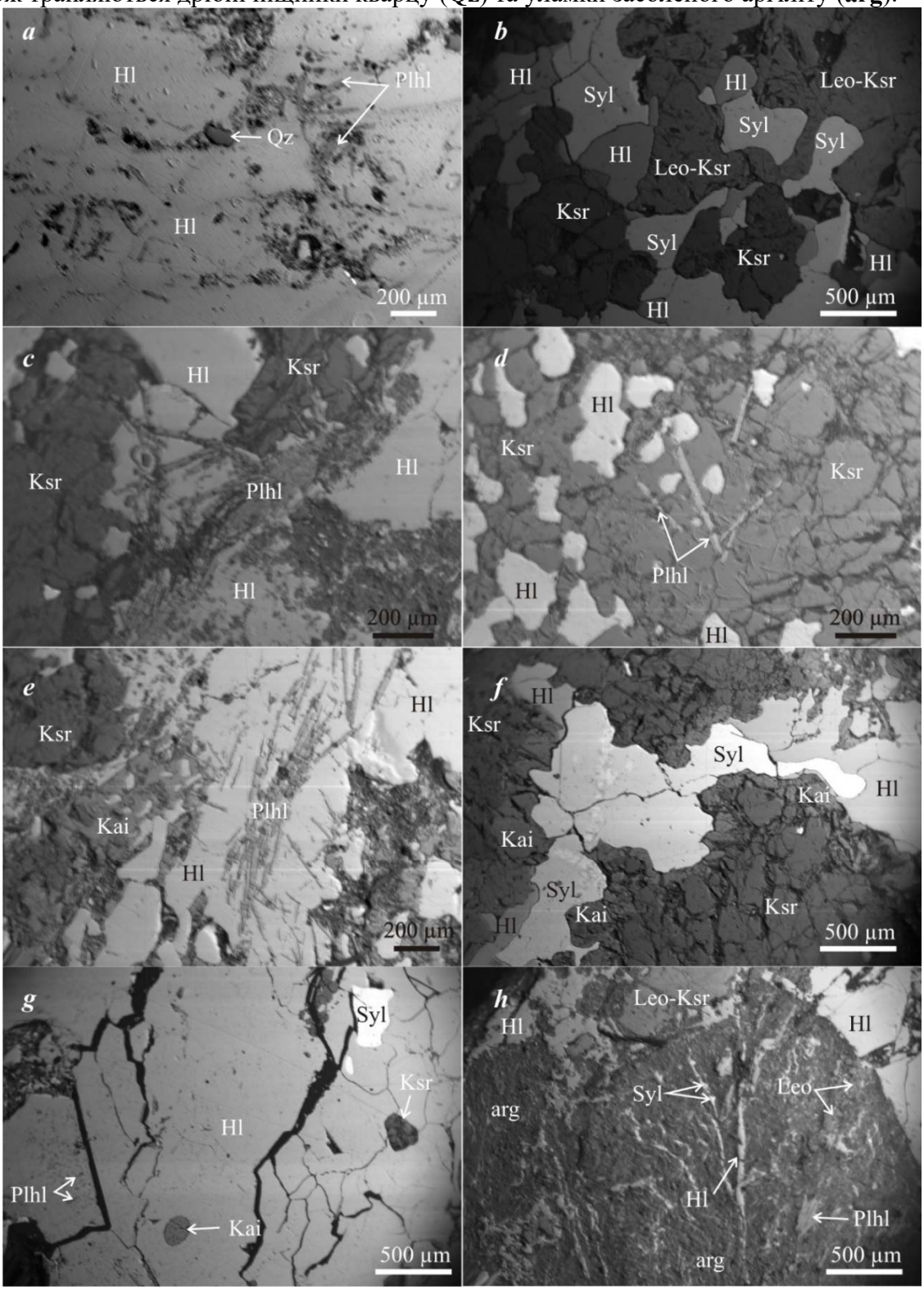


Рис. 1. Фото солей із рудника № 1 Стебницького родовища в режимі відбитих електронів (BSE, COMPO): *a* — голчасті кристали полігаліту, хаотично розсіяні в масі галіту;

***b* — рівномірні зростки галіту, сильвіну, кізериту та інтеркристаліти леоніт-кізериту; *c* — скупчення голчастих кристалів полігаліту та глинистих включень у масі галіту на межі з кізеритом; *d* — великі і дрібні голчасті кристали полігаліту та безформні полігональні включення галіту серед кізериту; *e* — голчасті кристали полігаліту в галіті, що межує з каїнітом та кізеритом; *f* — галіт-сильвіновий прожилок з облямівкою каїніту в масі кізериту; *g* — різноформні включення полігаліту, сильвіну, каїніту та кізериту в галіті; *h* — засолений аргіліт із прожилками галіту та включеннями леоніту, сильвіну, полігаліту.**

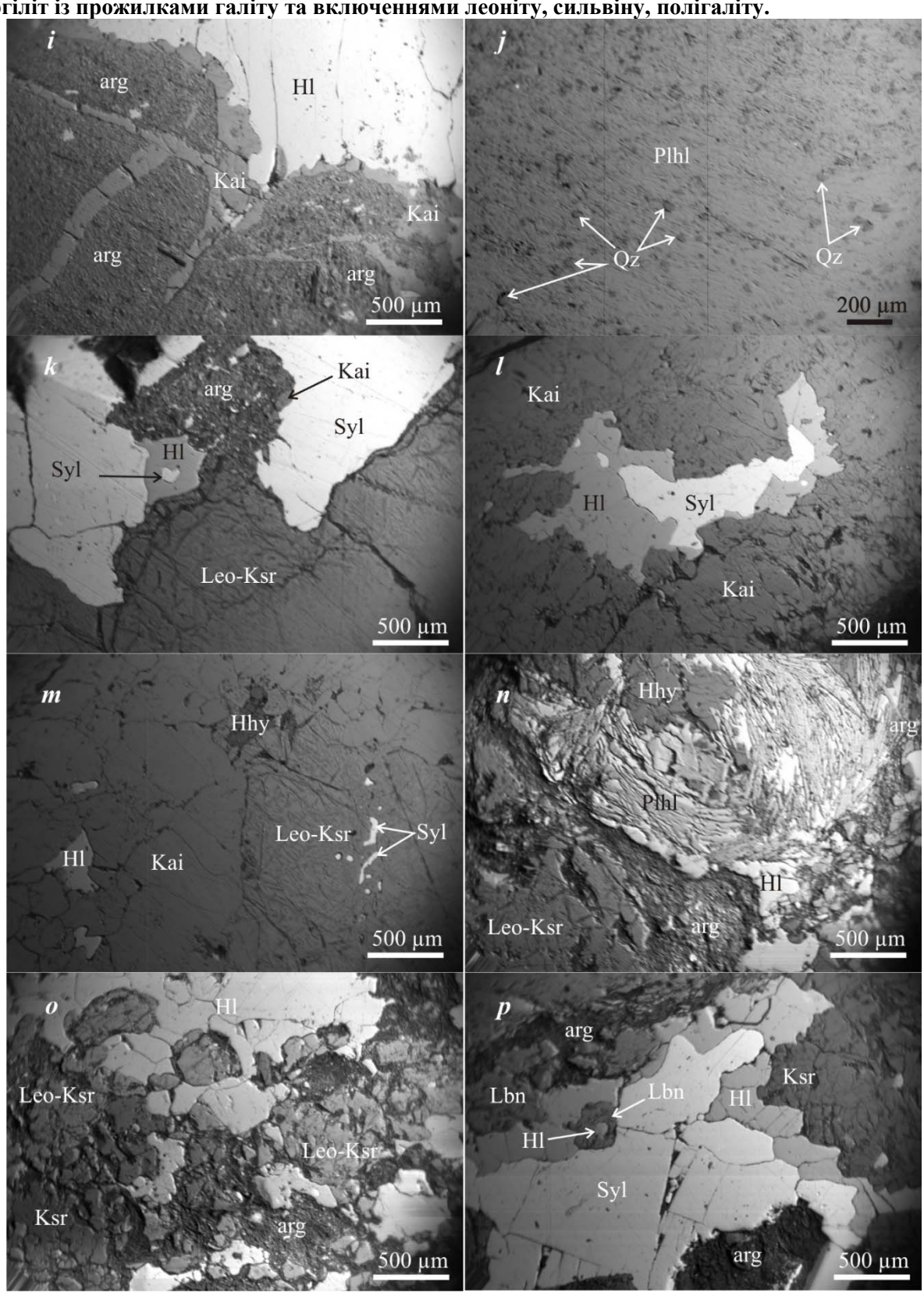


Рис. 2. Фото солей із рудника № 1 Стебницького родовища в режимі відбитих електронів (BSE, COMPO). *i* — облямівка каїніту довкола уламків засоленого аргіліту серед галіту;

***j* — масивний полігаліт із великим числом включень обкатаних зерен кварцу; *k* — ксеноліт засоленого аргіліту з сильвіном в масі леоніт-кізеритової породи; *l* — включення сильвіну та галіту в масі каїніту; *m* — каїніт з включеннями галіту та інтеркристаліти леоніт-кізериту з включеннями сильвіну та гексагідриту; *n* – тектонічно деформований шар засоленого аргіліту з голчастими кристалами полігаліту в гексагідрит-леоніт-кізеритовій масі; *o* — різнозерниста маса інтеркристалітів леоніт-кізериту, галіту, кізериту з ксенолітами засоленого аргіліту; *p* — сильвін з облямівкою галіту, включеннями галіту з лангбейнітом, ксенолітами засоленого аргіліту в масі кізериту.**

Визначення концентрації літію проводили в Інституті геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М. П. Семененка НАН України (ІГМР) у м. Київ. Вимірювання виконували на мас-спектрометрі з індуктивно зв'язаною плазмою високої роздільної здатності Thermo Element 2 HR ICP-MS. Зовнішнє калібрування проводили з використанням багатокомпонентних стандартних розчинів (Inorganic Ventures IV-ICPMS-71A та IV-ICPMS-71B). Для корекції інструментального дрейфу та матричних ефектів як внутрішній стандарт застосовували індій (20 ppb) із стандартного розчину Inorganic Ventures INDIUM. Достовірність аналізів перевіряли шляхом вимірювання міжнародних сертифікованих стандартних зразків (CRMs), зокрема JG-1a, JG-2 і JB-3.

Відповідно до результатів, отриманих за допомогою мас-спектрометра (ICP-MS), вміст Li в соляній руді із рудника № 1 Стебницького родовища становить 1,5−3 ppm (табл. 1). Різко на цьому фоні виділяється концентрація літію у твердому, нерозчинному в дистильованій воді залишку (проба 5). Вона досягає 77 ppm, що дещо більше кларка для глин та аргілітів (Turekian & Wedepohl 1961). Варто зауважити, що вміст літію у солях зростає зі збільшенням вмісту в породі сульфатів магнію (кізериту, каїніту, полігаліту тощо).

Таблиця 1

Вміст літію в солях із рудника № 1 Стебницького родовища

No	Проба	Li (ppm)	Похибка (%)	Візуальний мінеральний склад, %
1	B1-3	1.428	2.05	Галіт 95%, полігаліт 5%
2	B4-6	1.898	0.44	Галіт 25%, сильвін 25%, кізерит 25%, каїніт 10%, кізерит-леоніт 10%, полігаліт 5%
3	B7-10	3.072	0.94	Сильвін 25%, галіт 25%, полігаліт 20%, леоніт-кізерит 20%, каїніт 10%
4	B11-12	2.41	0.38	Сильвін 30%, галіт 30%, каїніт 10%, полігаліт 10%, леоніт-кізерит 10%, епсоміт+гексагідрит+лангбейніт 10%
5	B_CLAY	77.802	1.83	Промитий аргіліт

Концентрації літію в пробах розсолу рудника № 1 (табл. 2) також коливаються в межах першого десятка ppm, що вважається типовим рівнем кларкових значень для пластових вод соленосних басейнів (White et al. 1963).

Таблиця 2

Вміст головних іонів* та літію у пробах розсолу із Стебницького родовища (ppm).

Проба	Li^+	Na^+	Mg^{2+}	K^+	Ca^{2+}	$SO4^{2-}$	Cl^-	HCO_3^-
Хвостосховище 1	0.28	15260	1955	1917	963.3	12216	23526	231.21
Хвостосховище 2	1.49	36768	2626	5252	2264	21943	56783	244.52
№ 32	0.28	23423	5740	1724	471.3	20747	39815	226.22
№ 357	2.95	78810	11031	16610	200.1	37304	141330	140.39
№ 358	5.43	66131	18345	18377	395.4	50119	135695	368.23
№ 359	2.97	65494	21841	19634	197.1	49976	145718	213.51
№ 360	2.95	62921	21898	19685	197.6	48628	146099	346.95
№ 361	3.86	58276	23517	19506	195.8	49651	139600	363.67
№ 362	7.73	51702	30753	19485	195.6	52508	148486	344.69

**Вміст іонів Na^+,Mg^{2+},K^+,Ca^{2+},Cl^-,SO_4^{2-},$HCO3^-$ визначено в лабораторії ПрАТ «Стебницьке гірничо-хімічне підприємство „Полімінерал". Калій та натрій визначали полум'яно-фотометричним методом, магній та кальцій – комплексометричним із застосуванням трилону Б, вміст сульфат-іону – об'ємним методом, вмісту хлор-іону – меркуриметричним із застосуванням нітрату ртуті (2+), HCO_3^- – методом кислотно-основного титрування.*

Для оцінки статистичних та геохімічних зав'язків побудовано кореляційну діаграму за Пірсоном (рис. 3). Як видно на діаграмі з коефіцієнтами кореляції, літій має найвищу статистичну залежність з Mg^{2+} (0,85) та SO_4^{2-}(0,83). Так і має бути, адже літій кристалохімічно найближчий до магнію і часто заміщує останній в мінералах. Враховуючи те, що на Стебницькому родовищі магнійвмісними мінералами є такі сульфати як: кізерит, каїніт, лангбейніт, леоніт, гексагідрит, полігаліт тощо, то кореляція літію з сульфат-аніоном також видається цілком закономірною.

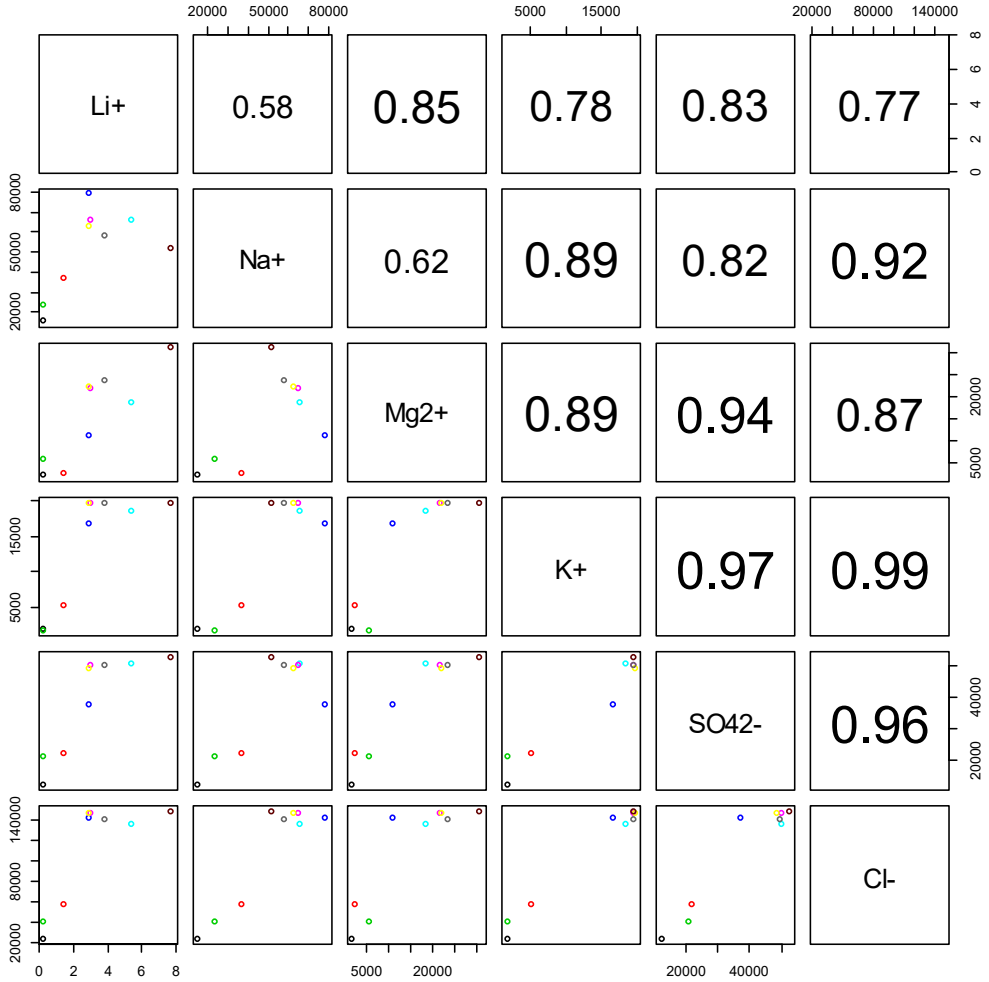


Рис. 3. Кореляційна залежність за Пірсоном між головними йонами та літієм в розсолі із Стебницького родовища

Висновки: Концентрація літію у солях і розсолі зі Стебницького родовища на рівні кларкових значень — 1−10 ppm (White et al. 1963), що є дуже позитивно для сільськогосподарських добрив, оскільки токсична для рослин концентрація становить вище 20−50 ppm. Більше того, такий вміст літію сприяє кращій вегетації рослин (Garcia-Daga et al. 2025). З економічної точки зору вилучення Li із солей чи розсолу було б абсолютно нерентабельним. Та враховуючи тісний зв'язок Li з мінерами Mg і середнє співвідношення Li/Mg ≈0,0002, в разі видобутку 10 т Mg супутньо можна отримати 2 кг Li, а також інші корисні компоненти, такі як: бром, цезій, рубідій та стронцій. Також варто нагадати, що станом на 01.01.2011 року балансові запаси сирих солей за категорію $A+B+C_1$ становили 698,9 млн. т, C_2 − 579,2 млн. т за середнього вмісту MgO − 8,34 %, K_2O −10,3 % (Rudko & Petryshyn, 2017).

Список використаних джерел:

Дяків В. (2018) Мінералого-геохімічні закономірності самоорганізації й еволюції карстових гідрогеологічних систем зони техногенезу соляних родовищ Карпатського регіону. *Мінерал. зб., № 68, вип. 1*. С. 181–183.

Лазаренко Є.К., Габінет М.П., Сливко О.П. (1962) *Мінералогія осадових утворень Прикарпаття*. Львів: Вид-во Львів. ун-ту.

Матковський О., Павлишин В., Сливко Є. (2009) *Основи мінералогії України: підручник.* Львів. Вид. центр ЛНУ ім. Івана Франка.

Матковський О.І. та ін. (2003) *Мінерали Українських Карпат. Борати, арсенати, фосфати, молібдати, сульфати, карбонати, органічні мінерали і мінералоїди.* Ред.. Львів: Вид-во ЛНУ ім. Івана Франка,. 344 с.

Рудько Г. І., Петришин В. Ю. (2017) *Соляні ресурси Передкарпаття та перспективи їх використання.* Київ - Чернівці : Букрек.

Розпорядження КМ України № 569-р від 26 травня 2026 р. *Стратегія розвитку галузей промисловості на основі корисних копалин та компонентів стратегічного та критичного значення на період до 2056 року.* https://www.kmu.gov.ua/npas/pro-skhvalennia-stratehii-rozvytku-haluzei-promyslovosti-na-osnovi-korysnykh-kopalyn-ta-s569270526

Garcia-Daga S., Fischer S., & Gilliham M. (2025) Lithium in plants. *New Phytologist 248: 1639–1654.* doi: 10.1111/nph.7052

Turekian K. K., & Wedepohl K. H. (1961). Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. *Bulletin of the Geological Society of America, 72(2),* 175–192. doi.org/10.1130/0016-7606(1961)72[175:DOTEIS]2.0.CO;2

White D. E., Hem J. D., & Waring G. A. (1963). Chemical composition of subsurface waters. *USGS Professional Paper 440-F*. https://doi.org/10.3133/pp440F

References:

Cabinet of Ministers of Ukraine (2026) *Strategy for the development of industrial sectors based on mineral resources and components of strategic and critical importance for the period up to 2056. Order of the No. 569-r dated May 26, 2026.* https://www.kmu.gov.ua/npas/pro-skhvalennia-stratehii-rozvytku-haluzei-promyslovosti-na-osnovi-korysnykh-kopalyn-ta-s569270526 [in Ukrainian]

Diakiv V. (2018) Mineralogical and geochemical patterns of self-organization and evolution of karst hydrogeological systems in the technogenic zone of salt deposits in the Carpathian region. *Mineral. zb., No. 68, Issue 1. P. 181–183*. [in Ukrainian]

Garcia-Daga, S., Fischer, S., & Gilliham, M. (2025) Lithium in plants. *New Phytologist 248:* 1639–1654. doi: 10.1111/nph.7052

Lazarenko Ye.K., Habinet M.P., Slyvko O.P. (1962) *Mineralogy of sedimentary formations of the Precarpathians*. Lviv: Lviv University Press [in Ukrainian]

Matkovskyi O., Pavlyshyn V., Slyvko Ye. (2009) *Fundamentals of the mineralogy of Ukraine: textbook.* Lviv: Ivan Franko National University of Lviv Publishing Center. [in Ukrainian]

Matkovskyi O.I. et al. (2003) *Minerals of the Ukrainian Carpathians. Borates, arsenates, phosphates, molybdates, sulfates, carbonates, organic minerals, and mineraloids.* Ed. O.I. Matkovskyi. Lviv: Ivan Franko National University of Lviv Press. [in Ukrainian]

Rudko H. I., Petryshyn V. Yu. (2017) *Salt Resources of the Precarpathian region and prospects for their utilization.* Kyiv–Chernivtsi: Bukrek. in Ukrainian]

Turekian, K. K., & Wedepohl, K. H. (1961). Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. *Bulletin of the Geological Society of America, 72(2),* 175–192. doi.org/10.1130/0016-7606(1961)72[175:DOTEIS]2.0.CO;2

White, D. E., Hem, J. D., & Waring, G. A. (1963). Chemical composition of subsurface waters *USGS Professional Paper 440-F.* doi.org/10.3133/pp440F

UDC 553.49:550.42

SOME ENVIRONMENTAL ASPECTS OF MINERAL RESOURCES EXTRACTION FROM URANIUM ALBITITES DEPOSITS IN UKRAINE

Demikhov Yu., *ORCID ID 0000-0002-3576-6570, y_demikhov@ukr.net;*
Verkhovtsev V., *ORCID ID 0000-0002-1015-6725, Verkhovtsev@ukr.net*;
Dudar T., *ORCID ID 0000-0003-3114-9732, tamadudar@ukr.net;*
Musych O., *ORCID ID 0000-0003-3874-741X, nad79eva@ukr.net,*
State Institution "The Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine", Kyiv, Ukraine

This study analyzes the potential for the rational utilization of uranium deposits of the albitite formation within the Inhul Megablock of the Ukrainian Shield, taking into account the complex nature of the mineralization. Valuable components have accumulated not only in the commercial-grade ores but also in the remaining mineral mass destined for waste dumps, which pose an environmental threat due to natural weathering. The rational utilization of these albitite-hosted uranium and associated element deposits—including through the application of bioleaching to waste rock—could enhance their economic viability while reducing the harmful impact on the environment.

Keywords: uranium-bearing albitites, bacterial leaching, uranium, associated elements, off-balance ores

Introduction. Almost all known deposits of the albitite formation within the Inhul Megablock of the Ukrainian Shield (US) have traditionally been viewed exclusively as uranium deposits. However, in addition to uranium, these deposits contain elevated – and in some cases, commercially viable – concentrations of other metals. At the same time, both globally and in Ukraine, the feasibility of the integrated extraction of mineral resources – including from mining waste At the same time, both globally and in Ukraine, the feasibility of the integrated extraction of mineral resources – including from mining waste – is being investigated as a means to improve operational cost-efficiency and reduce environmental contamination is being investigated as a means to improve operational cost-efficiency and reduce environmental contamination (Fomin et all., 2020).

Currently, the majority of global mineral resource extraction – including uranium, thorium, and rare-earth elements (REEs) – relies on primary resources; however, interest in utilizing secondary resources is steadily growing, particularly in light of environmental protection standards and the need to conserve reserves. Although some deposit waste piles have been studied in considerable detail for these purposes, plans for their exploitation were generally abandoned quickly, primarily due to economic factors (Patel et all., 2023).

The aim of the study is to investigate the potential for the rational use and increase in raw material resources, as well as the reduction of environmental impacts from harmful waste associated with uranium deposits of the albitite formation within the Inhul Megablock of the Ukrainian Shield. The research is conducted within the framework of the National Academy of Sciences of Ukraine project titled "Scientific principles for addressing geo-environmental issues regarding the integrated development of the mineral resource for Ukraine's nuclear energy sector under current conditions."

Objects of the study. Typical examples of commercially significant uranium-bearing albitites of the Ukrainian Shield were investigated, specifically the Severynivske, Michurinske, Yuriivske, Pivnichno-Konoplianske, Vatutinske, and Novokostiantynivske deposits.

According to our research, in addition to uranium, five other elements associated with uranium mineralization – Th, V, Be, as well as Zn and Pb – approach commercial-grade concentrations in these deposits (Fomin et all., 2020). Therefore, we examine in greater detail their distribution within the ores, host rocks, and minerals of uranium deposits belonging to the albitite formation, with the aim of assessing the potential for their rational utilization and considering them as commercial ores. It is also important to note that these elements are quite mobile under hypergene conditions; consequently, their long-term storage in waste piles poses a risk of environmental contamination.

An overview of ways to enhance the profitability of albitite deposits. Increasing the profitability of these deposits involves a combination of advanced mining methods, pre-

concentration, and – most importantly – the co-extraction of associated elements. To achieve significant recovery of U, Th, and associated elements from secondary sources, chemical and biological leaching methods are employed, followed by solvent extraction or alkaline fusion (Verkhovtsev et all., 2023).

As it is well known, ore is an economic concept. Therefore, the development of methods for the economically viable extraction of uranium and associated elements is of undoubted practical interest.

Microbial leaching (or bioleaching) is an attractive alternative to traditional physical and chemical ore beneficiation methods due to reduced energy consumption and transport costs, as well as a less detrimental environmental impact. The application of bioleaching dates back to the 16th century – in sulfide copper deposits in Hungary and Germany – predating a full understanding of the process's nature.

Bioleaching technology is particularly relevant for Ukrainian uranium ores, given the medium to low uranium content in the rock. Specifically, reducing extraction costs (including the cost of chemical reagents) – particularly when processing waste rock piles – can effectively reclassify such material as ore. Bacterial leaching can be applied to ores containing iron sulfides or reduced forms of sulfur. Therefore, adding sulfur to the ore – including sub-marginal grades – can facilitate bioleaching by increasing the sulfuric acid concentration in the system, thereby enhancing metal recovery.

Sulfide sulfur is almost absent in the ore-grade rocks. Consequently, during the exploitation of albitite deposits, sulfur primarily accumulates in industrial waste. Since the ores themselves lack significant quantities of sulfides, bioleaching cannot be applied to them without the addition of sulfur. However, barren and low-grade albitites exhibit sulfur levels two to three times higher than the crustal average (Clarke value). Furthermore, the pyrite within these rocks contains elevated levels of certain metals; specifically, Co and Pb concentrations reach levels of economic interest, while Zn and U levels approach that threshold. Therefore, these rocks appear promising for the bioleaching of the aforementioned metals. It is also necessary to investigate the feasibility of adding barren and low-grade albitites to the ore-grade rocks – thereby increasing the sulfide content – and to assess the prospects of applying bioleaching to such a mixture.

Associated elements in uranium-bearing albitites.

As previously noted, five elements associated with uranium mineralization – Th, V, Be, Zn, and Pb – reach concentrations approaching commercial grade. With the exception of Be, these elements are distributed relatively evenly between ore-bearing and barren rocks; consequently, they tend to accumulate in waste piles. Under supergene conditions, these elements exhibit varying behaviors but are generally mobile, posing a potential environmental hazard.

Conclusion

Currently, the bulk of global uranium and associated element production is derived from primary resources; however, increasing attention is being paid to the use of secondary resources, particularly from the perspectives of environmental protection and the rational use of reserves. An advantage of secondary resources is that the primary costs are incurred during the initial extraction of the raw materials, meaning only the additional costs of processing need to be considered.

References

Fomin Yu.O., Demikhov Yu.M., Verkhovtsev V.G., Dudar T.V., Borysova N.M., Kravchuk Z.M. (2020). Pathfinder elements of uranium mineralization from albitite formation of the Ukrainian shield and their impact on the environment. *Environmental safety and natural resources.* V. 33. N 1. P. 42-58. In Ukrainian. https://doi.org/10.32347/2411-4049.2020.1.42-58

Patel, K. S., Sharma, S., Prakash Maite, J., Martín-Ramos, P., Fiket, Ž., Bhattacharya, P., Zhu, Y. (2023). Occurrence of uranium, thorium and rare earth elements in the environment: A review. *Frontiers in Environmental Science*. P. 1-18. https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.1058053

Verkhovtsev V.G., Musych O.G., Fomin Yu.O., Demikhov Yu.M. (2023). Bacterial leaching of balanced ores of albitite deposits of the Ukrainian shield. *Mineralogical Journal*, 45, N 1. P. 72-82. In Ukrainian. https://doi.org/10.15407/mineraljournal.45.01.072

УДК 553.04:004.9(477)

КРИТИЧНА ТА СТРАТЕГІЧНА МІНЕРАЛЬНА СИРОВИНА УКРАЇНИ: ЗАСТОСУВАННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ПЕРСПЕКТИВНИХ ТЕРИТОРІЙ

***Ковальчук А.**, аспірантка, ORCID ID 0009-0004-7971-6737, angel2002koval@gmail.com,*
Інститут геологічних наук Національної академії наук України, Київ, Україна
ДНВП «Геоінформ України», Київ, Україна

Розглянуто сучасні підходи до розвитку мінерально-сировинної бази критичних та стратегічних корисних копалин України в контексті європейської сировинної політики. Окреслено можливості застосування геоінформаційних технологій і даних дистанційного зондування Землі для комплексного аналізу геологічної інформації та попереднього виділення перспективних територій. На прикладі західного сегменту Українського щита розглянуто використання даних Sentinel-2 як додаткового джерела пошукових ознак. Показано необхідність комплексної інтерпретації результатів дистанційного зондування разом із геологічними, структурними та геохімічними даними.

Ключові слова: критична мінеральна сировина, стратегічна мінеральна сировина, геоінформаційні технології, Sentinel-2, дистанційне зондування Землі, прогнозування.

CRITICAL AND STRATEGIC MINERAL RAW MATERIALS OF UKRAINE: APPLICATION OF GEOINFORMATION TECHNOLOGIES FOR PROSPECTIVITY MAPPING

***Kovalchuk A.**, postgraduate, ORCID ID 0009-0004-7971-6737, angel2002koval@gmail.com,*
Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
SRDE "Geoinform of Ukraine", Kyiv, Ukraine

Current approaches to the development of Ukraine's mineral resource base of critical and strategic minerals are considered in the context of European raw materials policy. The potential of geoinformation technologies and Earth observation data for the integrated analysis of geological information and preliminary delineation of prospective areas is outlined. Using the western segment of the Ukrainian Shield as an example, Sentinel-2 data are considered as an additional source of exploration indicators. The results highlight the need for integrated interpretation of remote sensing data together with geological, structural, and geochemical information.

Keywords: critical raw materials, strategic raw materials, geoinformation technologies, Sentinel-2, Earth observation, mineral prospectivity.

Вступ. Питання забезпечення критичною та стратегічною мінеральною сировиною набуло системного значення для промислової, енергетичної та технологічної політики. У Європейському Союзі Regulation (EU) 2024/1252 встановлює окремі переліки стратегічної та критичної сировини. Стратегічні матеріали визначаються з урахуванням їх значення для стратегічних технологій, прогнозованого зростання попиту та складності нарощування виробництва; критичні — з урахуванням економічної важливості та ризику постачання (European Parliament & Council, 2024, Articles 3–4; Annexes I–II).

Регламент також установлює орієнтири ЄС до 2030 р.: видобувні потужності — щонайменше 10 % річного споживання стратегічної сировини, переробні — 40 %, перероблення відходів — 25 %, а залежність від однієї третьої країни для кожної стратегічної сировини на відповідній стадії переробки не повинна перевищувати 65 % (European Parliament & Council, 2024, Article 5). Ці положення демонструють, що питання критичної сировини охоплює не лише геологічну наявність ресурсів, а й стійкість усього ланцюга їх освоєння.

В Україні постановою Кабінету Міністрів України від 14.07.2025 № 845 затверджено переліки корисних копалин та компонентів стратегічного і критичного значення, а також відповідні переліки ділянок надр (Кабінет Міністрів України, 2025). У 2026 р. схвалено Стратегію розвитку галузей промисловості на основі таких корисних копалин та компонентів на період до 2056 року. Її метою визначено розвиток галузей із високою доданою вартістю на основі потенціалу мінерально-сировинної бази України, задоволення

потреб національної економіки та інтеграцію у глобальні ланцюги постачання (Кабінет Міністрів України, 2026, розділ «Загальні положення»).

Методичний аспект оцінювання ресурсного потенціалу критичної сировини для України окремо розглянуто S. Lytvyniuk та N. Bariatska. Автори акцентують на відмінностях підходів до оцінювання, класифікації, обліку й управління критичною мінеральною сировиною та необхідності їх стандартизації для формування надійних ланцюгів постачання (Lytvyniuk & Bariatska, 2024, pp. 77–85).

Геоінформаційні технології та ДЗЗ у прогнозуванні. Для територій із великим обсягом різнотипних фондових матеріалів геоінформаційний підхід дає можливість поєднати геологічні карти, структурні дані, геохімічну інформацію, відомості про мінералізацію та матеріали дистанційного зондування в єдиному просторовому середовищі. ДЗЗ у такій системі доцільно розглядати не як метод прямого визначення корисної копалини, а як джерело додаткових просторових ознак, які підлягають геологічній перевірці.

Можливості Sentinel-2 для геологічного дистанційного зондування досліджували H. van der Werff та F. van der Meer. У табл. 2 зазначеної роботи наведено спектральні співвідношення каналів (band ratios) для Sentinel-2A MSI, зокрема B11/B12 для hydroxyl-bearing alteration, B4/B2 для all iron oxides, B4/B3 для ferric iron (Fe3+) та B12/B11 для ferrous silicates (Van der Werff & Van der Meer, 2016, Table 2). Автори підкреслюють, що ці співвідношення є спектральними proxy-показниками для картування особливостей поверхні, а результати мають зіставлятися з геологічною моделлю території (табл.).

Таблиця

Приклади спектральних співвідношень Sentinel-2 для геологічного дистанційного зондування. Джерело формул та інтерпретацій: (Van der Werff & Van der Meer, 2016, Table 2)

Спектральна ознака	Sentinel-2	Інтерпретація	Конкретне джерело
Гідроксилвмісні зміни (hydroxyl-bearing alteration)	B11/B12	можливі OH-вмісні продукти змін	Van der Werff & Van der Meer, 2016, Table 2
Оксиди заліза (all iron oxides)	B4/B2	контрастування залізооксидних особливостей	Van der Werff & Van der Meer, 2016, Table 2
Окиснене залізо Fe^{3+} (ferric iron)	B4/B3	контрастування ознак окисненого заліза	Van der Werff & Van der Meer, 2016, Table 2
Fe^{2+}-вмісні силікати (ferrous silicates)	B12/B11	спектральні ознаки Fe^{2+}-вмісних силікатів	Van der Werff & Van der Meer, 2016, Table 2

Інший підхід до картування залізовмісних мінералів за даними Sentinel-2 представлено у роботі Ge et al. (2020). Автори виконали злиття каналів Sentinel-2 різної просторової розрізненості з приведенням їх до 10 м та для отриманого набору даних запропонували співвідношення B6/B1 для виділення гематиту і гетиту, B6/B8A — гематиту і ярозиту, а (B6+B7)/B8A — суміші залізовмісних мінералів. За результатами дослідження автори показали, що залучення додаткових спектральних каналів та приведення даних до єдиної просторової розрізненості підвищило можливості Sentinel-2 щодо виявлення залізовмісних мінералів (Ge et al., 2020). Наведений приклад також свідчить про важливість урахування способу попередньої обробки даних і конкретного набору спектральних каналів під час вибору та інтерпретації спектральних співвідношень.

Практичне застосування підходу. У межах дослідження автора для західного сегменту Українського щита формується геоінформаційна база, що поєднує оцифровані фондові геологічні матеріали, відомості про пункти мінералізації та геохімічні аномалії із сучасними даними Sentinel-2. На попередньому етапі виконано тестування окремих спектральних співвідношень та їх спільного відображення у вигляді RGB-композиту (рис.). Отриманий RGB-композит використано для попереднього виділення спектрально

контрастних ділянок, які на наступних етапах дослідження потребують комплексного зіставлення з геологічними, структурними та геохімічними даними.

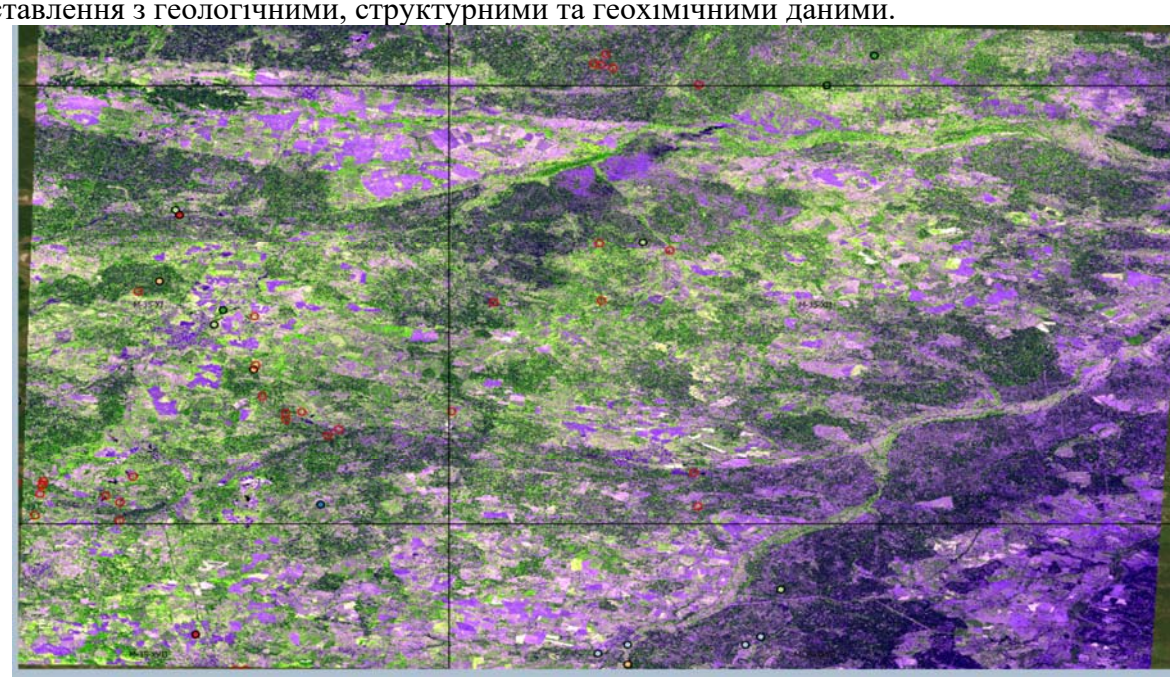


Рис. Приклад RGB-композиту спектральних показників Sentinel-2 для попереднього виділення спектрально контрастних ділянок у межах досліджуваної території (матеріали автора)

Принциповим обмеженням є те, що спектральний контраст не може автоматично трактуватися як ознака конкретної мінералізації. На відгук поверхні впливають рослинність, ґрунтовий покрив, сільськогосподарське використання, сезонність, атмосферні умови та різночасовість сцен. Тому подальша перевірка має ґрунтуватися на комплексуванні дистанційних ознак із геологічними, структурними й геохімічними критеріями та, за можливості, на незалежній валідації.

Висновки. Сучасна політика ЄС та України щодо критичної і стратегічної мінеральної сировини посилює потребу не лише в оцінюванні ресурсної бази, а й у розвитку інструментів, які підвищують ефективність роботи з геологічною інформацією. Геоінформаційні технології створюють основу для інтеграції різнотипних даних, а Sentinel-2 може бути одним із допоміжних джерел спектральних пошукових ознак. Науково обґрунтоване застосування band ratios потребує посилання на конкретні методичні джерела та обов'язкової перевірки їх інформативності в геологічних умовах досліджуваної території. Попередні результати підтверджують доцільність подальшого розвитку комплексного ГІС-підходу з переходом від візуального аналізу спектральних ознак до їх кількісного зіставлення з геологічними, структурними та геохімічними критеріями.

Список використаних джерел:

Кабінет Міністрів України. (2025). *Про затвердження переліків корисних копалин та компонентів стратегічного та критичного значення і переліків ділянок надр (родовищ корисних копалин) стратегічного та (або) критичного значення: Постанова Кабінету Міністрів України від 14 липня 2025 р. № 845*. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/845-2025-%D0%BF

Кабінет Міністрів України. (2026). *Про схвалення Стратегії розвитку галузей промисловості на основі корисних копалин та компонентів стратегічного та критичного значення на період до 2056 року та затвердження операційного плану з її реалізації у 2026–2028 роках: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 27 травня 2026 р. № 569-р*. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/569-2026-%D1%80

European Parliament & Council of the European Union. (2024). *Regulation (EU) 2024/1252 of 11 April 2024 establishing a framework for ensuring a secure and sustainable supply of critical raw materials and amending Regulations (EU) No 168/2013, (EU) 2018/858, (EU) 2018/1724 and (EU) 2019/1020*. *Official Journal of the European Union*. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1252/oj

Ge, W., Cheng, Q., Jing, L., Wang, F., Zhao, M., & Ding, H. (2020). Assessment of the capability of Sentinel-2 imagery for iron-bearing minerals mapping: A case study in the Cuprite Area, Nevada. *Remote Sensing, 12*(18), 3028. https://doi.org/10.3390/rs12183028

Lytvyniuk, S., & Bariatska, N. (2024). Methodological approaches for determination and assessing the resource potential of critical raw materials in Ukraine. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology, 1*(104), 77–85. https://doi.org/10.17721/1728-2713.104.10

Van der Werff, H., & Van der Meer, F. (2016). Sentinel-2A MSI and Landsat 8 OLI provide data continuity for geological remote sensing. *Remote Sensing, 8*(11), 883. https://doi.org/10.3390/rs8110883

References

Cabinet of Ministers of Ukraine. (2025). *Pro zatverdzhennia perelikiv korysnykh kopalyn ta komponentiv stratehichnoho ta krytychnoho znachennia i perelikiv dilianok nadr (rodovyshch korysnykh kopalyn) stratehichnoho ta (abo) krytychnoho znachennia* [On approval of the lists of minerals and components of strategic and critical importance and lists of subsoil areas (mineral deposits) of strategic and/or critical importance] (Resolution No. 845, July 14, 2025). https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/845-2025-%D0%BF [in Ukrainian]

Cabinet of Ministers of Ukraine. (2026). *Pro skhvalennia Stratehii rozvytku haluzei promyslovosti na osnovi korysnykh kopalyn ta komponentiv stratehichnoho ta krytychnoho znachennia na period do 2056 roku ta zatverdzhennia operatsiinoho planu z yii realizatsii u 2026–2028 rokakh* [On approval of the Strategy for the development of industries based on minerals and components of strategic and critical importance until 2056 and approval of the operational plan for its implementation in 2026–2028] (Order No. 569-r, May 27, 2026). https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/569-2026-%D1%80 [in Ukrainian]

European Parliament & Council of the European Union. (2024). *Regulation (EU) 2024/1252 of 11 April 2024 establishing a framework for ensuring a secure and sustainable supply of critical raw materials and amending Regulations (EU) No 168/2013, (EU) 2018/858, (EU) 2018/1724 and (EU) 2019/1020*. *Official Journal of the European Union*. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1252/oj

Ge, W., Cheng, Q., Jing, L., Wang, F., Zhao, M., & Ding, H. (2020). Assessment of the capability of Sentinel-2 imagery for iron-bearing minerals mapping: A case study in the Cuprite Area, Nevada. *Remote Sensing, 12*(18), 3028. https://doi.org/10.3390/rs12183028

Lytvyniuk, S., & Bariatska, N. (2024). Methodological approaches for determination and assessing the resource potential of critical raw materials in Ukraine. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology, 1*(104), 77–85. https://doi.org/10.17721/1728-2713.104.10

Van der Werff, H., & Van der Meer, F. (2016). Sentinel-2A MSI and Landsat 8 OLI provide data continuity for geological remote sensing. *Remote Sensing, 8*(11), 883. https://doi.org/10.3390/rs8110883

УДК 553.495(477.44)

САБАРІВСЬКЕ РОДОВИЩЕ РІДКІСНИХ ЗЕМЕЛЬ (ВЕРХНЄ ПОБУЖЖЯ): ГЕОЛОГІЧНА БУДОВА ТА ПЕРСПЕКТИВИ ОСВОЄННЯ

Кузьманенко Г.О., *к. геол. н., ст. досл., ORCID ID 0000-0002-6430-4148, geology7@ukr.net;*
Охоліна Т.В., *к. геол. н., ст. досл., ORCID ID 0000-0003-3936-9561, svilya@ukr.net;*
Ковальчук А.С., *аспірантка, ORCID ID 0009-0004-7971-6737, angel2002koval@gmail.com,*
Інститут геологічних наук НАН України; ДНВП «Геоінформ України», Київ, Україна

У роботі наведено результати узагальнення геологічних та мінералогічних даних щодо Сабарівського родовища рідкісних земель у межах Верхнього Побужжя. Охарактеризовано геологічну будову рудного тіла, його морфологію, потужність, мінеральний склад і особливості розподілу монациту, циркону та ільменіту. Встановлено підвищений вміст рідкісноземельних елементів і торію в монациті та визначено основні компоненти мінеральної сировини. Отримані результати дають підстави розглядати Сабарівське родовище як потенційний комплексний об’єкт рідкісноземельної та польовошпатової сировини.

Ключові слова: Сабарівське родовище, рідкісні землі, монацит.

SABARIV RARE EARTH DEPOSIT (UPPER POBUZHZHIA): GEOLOGY STRUCTURE AND DEVELOPMENT POTENTIAL

Kuzmanenko H., *PhD (Geol.), Senior Researcher, ORCID ID 0000-0002-6430-4148, geology7@ukr.net;*
Okholina T., *PhD (Geol.), Senior Researcher, ORCID ID 0000-0003-3936-9561, svilya@ukr.net;*
Kovalchuk A., *PhD student, ORCID ID 0009-0004-7971-6737, angel2002koval@gmail.com*
Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine; SRDE Geoinform of Ukraine, Kyiv, Ukraine

The paper presents the results of a synthesis of geological and mineralogical data on the Sabariv Rare Earth Deposit in the Upper Pobuzhzhia region. The geological structure of the ore body, its morphology, thickness, mineral composition, and the distribution patterns of monazite, zircon, and ilmenite are characterized. Elevated concentrations of rare earth elements and thorium in monazite were established, and the main components of the mineral raw materials were identified. The results provide grounds for considering the Sabariv Deposit as a potential integrated source of rare earth and feldspar raw materials.

Keywords: Sabarivske deposit, rare earth elements, monazite.

Вступ. Рідкісноземельні елементи набувають стратегічного значення у зв'язку зі стрімким зростанням їх використання у високотехнологічних галузях промисловості, розвитку відновлюваної енергетики та реалізації концепції «зеленого» енергетичного переходу (Green Energy Transition). Крім того, рідкісноземельні елементи включені до переліків критичної мінеральної сировини Європейського Союзу та України (Постанова Кабінету Міністрів України № 845, 2025), що визначає їх як один із ключових чинників ресурсної безпеки та технологічного розвитку.

Сабарівське родовище є одним із перспективних об’єктів рідкісноземельної мінералізації Західної металогенічної провінції України та потенційним джерелом циркон-монацитової сировини (Сукач та ін., 2025; Інвестиційний атлас надрокористувача, 2024). За результатами геолого-промислового оцінювання (Михайлов та ін., 2021) родовище становить інтерес для можливого освоєння рідкісноземельної сировини.

Сабарівське родовище рідкісних земель розташоване на правому березі р. Південний Буг, навпроти с. Сабарів Вінницької області. Відкрите під час проведення спеціалізованих пошукових робіт на рідкісноземельні метали (Лавров, 1963).

Рудне тіло простежене відслоненнями та гірничими виробками на відстані близько 1 км, представлене крупнозернистими рожево-сірими гранітами. Контакти з вміщуючими породами поступові, а його залягання, ймовірно, узгоджене із заляганням мігматитів.

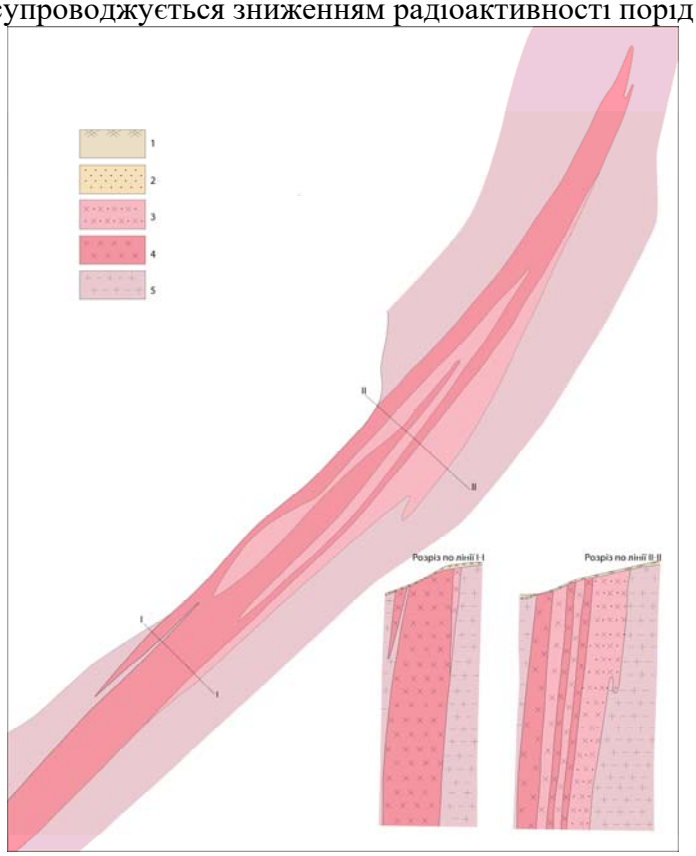
Усього на родовищі пройдено 7 канав і розчисток упоперек простягання рудного тіла з урахуванням його природних виходів.

Рудне тіло добре відслонюється в кар’єрі та простежується в північно-східному напрямку в берегових обривах р. Південний Буг і вздовж струмка — її притоки. Його

загальна простежена довжина за гірничими виробками та відслоненнями становить 955 м; у північно-східному напрямку потужність поступово зменшується, і тіло виклинюється.

Потужність тіла в кар'єрі становить 50–63 м; у північно-східному напрямку вона зростає до 100 м на ділянці протяжністю близько 350 м, після чого зменшується до 35 м і поступово виклинюється. Потужність кондиційної частини рудного тіла (за вмісту монациту понад 0,5 кг/т) змінюється від 30 до 63 м і в середньому становить 50 м.

Рудне тіло має складну внутрішню будову та представлене переважно рожево-сірими крупнозернистими лейкократовими гранітами з незначним вмістом біотиту й гранату (рис.), які місцями переходять у середньо- та дрібнозернисті й пегматоїдні різновиди. У дрібнозернистих гранітах вміст біотиту та гранату зростає до 5–10 %, що супроводжується зниженням радіоактивності порід і вмісту монациту.



1 – ґрунтово-рослинний шар, суглинки;
2 – піщані відклади;
3 – граніти рожево-сірі лейкократові;
4 – граніти рожево-сірі лейкократові, з підвищеним вмістом монациту;
5 – мігматити гранат-біотитові

Рис. Схематична геологічна карта Сабарівського родовища

За мінеральним складом руди представлені переважно калієвим польовим шпатом (25–55 %), плагіоклазом (15–25 %) і кварцом (20–25 %); другорядними мінералами є біотит і монацит. Монацит утворює поодинокі бурі зерна розміром близько 1 мм; його вміст становить 0,5–4,2 кг/т, у середньому 1,2 кг/т. Циркон представлений рожевими та рожево-бурими зернами розміром 0,5–1 мм, його вміст змінюється від десятих часток до 3,4 кг/т (у середньому 0,7 кг/т). Ільменіт трапляється у незначних кількостях у вигляді таблитчастих і видовжених зерен; його вміст становить 0,3–5,6 кг/т (у середньому 1,1 кг/т). Гранат представлений округлими рожевими зернами до 0,5 см, із вмістом 0,5–60,0 кг/т (у середньому 12,8 кг/т).

За результатами силікатного аналізу, основними компонентами руди є SiO_2 (60,28 %), Al_2O_3 (24,55 %), CaO (5,57 %), Na_2O (3,05 %), MgO (2,90 %), Fe_2O_3 (2,49 %) та FeO (1,26 %); MnO не виявлено. Підвищений вміст заліза й кальцію зумовлює необхідність попереднього збагачення сировини для її використання в керамічній промисловості. Вміст рубідію становить 0,004–0,45 %, у середньому 0,03–0,04 %; цезій і літій практично відсутні. Рубідій, імовірно, пов'язаний переважно з біотитом і частково з калієвим польовим шпатом (Державна геологічна карта України (Вінниця), 2006).

Хімічний склад мінеральних фракцій характеризується підвищеним вмістом рідкісноземельних елементів і торію в монациті. Сума рідкісноземельних елементів у

монациті становить 47,5–67,25 % (у середньому 57,48 %), ThO_2 – 3,55–13,16 % (8,85 %), U – 0,06–0,7 %, що зумовлює підвищену радіоактивність рудного тіла. У цирконі вміст ZrO_2 + HfO_2 становить 57,1–67,0 % (у середньому 62,69 %), рідкісноземельних елементів – 0,16–6,44 %, урану – 0,02–0,7 %. Рідкісноземельна складова монациту представлена переважно Ce (42,8–47,0 %), La (22,9–25,2 %) та Nd (23–25 %); у менших кількостях присутні Pr, Sm, Gd, Dy та Y. У монациті з вміщуючих порід додатково встановлено Tb і Eu.

На родовищі виконано підрахунок запасів за категорією C_2. До контуру підрахунку включено частину рудного тіла, оконтурену за результатами гірничих виробок та відслонень, із виключенням ділянок із вмістом монациту менше 0,5 кг/т.

Висновки:

Таким чином, Сабарівське родовище характеризується значною потужністю та протяжністю єдиного рудного тіла, підвищеним вмістом монациту, циркону та ільменіту, а також значними запасами польовошпатової сировини. Сукупність цих характеристик визначає родовище як потенційний комплексний об’єкт рідкісноземельної та польовошпатової сировини.

Промислове освоєння родовищ REE в Україні стримується складним речовинним складом і невисоким вмістом рідкісноземельних елементів у рудах, радіоактивністю частини сировини, відсутністю вітчизняної технологічної бази їх комплексної переробки та безпековими ризиками. Водночас отримані результати свідчать про перспективність Сабарівського родовища як потенційного об’єкта розширення ресурсної бази рідкісноземельних елементів України. Подальше геологічне вивчення та комплексна оцінка його ресурсного потенціалу можуть стати підґрунтям для реалізації інвестиційних проєктів у сфері видобутку й переробки критичної мінеральної сировини. Це відповідає сучасним напрямам державної політики у сфері критичної мінеральної сировини, зокрема положенням Стратегії розвитку сфери критичної мінеральної сировини, схваленої Кабінетом Міністрів України 27 травня 2026 року (Розпорядження Кабінету Міністрів України № 569-р., 2026), яка орієнтована на формування повного ланцюга створення доданої вартості — від геологічного вивчення та видобутку до глибокої переробки сировини та інтеграції України у європейський ринок критичних матеріалів. У цьому контексті розвиток REE-галузі може стати одним із перспективних напрямів повоєнного відновлення України та формування високотехнологічного сектору критичних матеріалів.

Список використаних джерел:

Державна геологічна карта України. Масштаб 1:200 000. Центральноукраїнська серія. Аркуш M-35-XXIX (Вінниця). – Київ: Державна геологічна служба, Північне державне регіональне геологічне підприємство “Північгеологія”, Правобережна геологічна експедиція, 2006.

Інвестиційний атлас надрокористувача: стратегічні та критичні мінерали [Електронний ресурс]. Київ: Державна служба геології та надр України, 2024. URL: https://www.geo.gov.ua/wp-content/uploads/presentations/ukr/investicijnij-atlas-nadrokoristuvacha-strategichni-ta-kritichni-minerali.pdf (дата звернення: 31.08.2026).

Лавров, Д.А. (1963). Отчет о поисках редких металлов в районе Верхнего Побужья и Приднестровья за 1960-1963 гг. К.: Геоинформ.

Михайлов, В., Курило, М., Кошарна, С. (2021). Геолого-промислова оцінка та ранжування перспективних об’єктів вітчизняної бази рідкісноземельних елементів. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія,* 2(93), 32-40. https://doi.org/10.17721/1728-2713.93.04

Михайлов, В.А., Курило, М.М. (2017). Оцінка інвестиційної привабливості об'єктів мінерально-сировинної бази України. *Мат-ли IV науково-практичної конференції "Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування", Трускавець, 6–10 листопада 2017 р*., 135–139.

Постанова Кабінету Міністрів України № 845 від 14.07.2025 «Про затвердження переліків корисних копалин та компонентів стратегічного та критичного значення і переліків ділянок надр (родовищ корисних копалин) стратегічного та (або) критичного значення». URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/845-2025-%D0%BF (дата звернення: 17.09.2026).

Розпорядження Кабінету Міністрів України № 569-р. від 27.05.2026 «Про схвалення Стратегії розвитку галузей промисловості на основі корисних копалин та компонентів стратегічного та критичного значення на період до 2056 року та затвердження операційного плану з її реалізації у 2026–2028 рр.». URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/569-2026-р (дата звернення: 24.08.2026).

Сукач, В.В., Василенко, А.П., Гейченко, М.В. (2025). Рідкісноземельні метали України: стратегічний ресурс для розвитку сучасної глобальної економіки. *Мінеральні ресурси України,* 4, 3–8. https://doi.org/10.31996/mru.2025.4.3-8

References

Cabinet of Ministers of Ukraine. (2025). *On approval of the lists of minerals and components of strategic and critical importance and the lists of subsoil areas (mineral deposits) of strategic and/or critical importance* (Resolution No. 845). https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/845-2025-%D0%BF [in Ukrainian]

Cabinet of Ministers of Ukraine. (2026). *On approval of the Strategy for the development of industries based on minerals and components of strategic and critical importance for the period up to 2056 and approval of the operational plan for its implementation in 2026–2028* (Order No. 569-r). https://zakon.rada.gov.ua/go/569-2026-p [in Ukrainian]

Investment Atlas of Subsoil Use: Strategic and Critical Minerals [Electronic resource]. Kyiv: State Service of Geology and Mineral Resources of Ukraine, 2024. URL: https://www.geo.gov.ua/wp-content/uploads/presentations/ukr/investicijnij-atlas-nadrokoristuvacha-strategichni-ta-kritichni-minerali.pdf (accessed: 31.08.2026). [in Ukrainian]

Lavrov, D.A. (1963). Report on the exploration of rare metals in the Upper Pobuzhzhia and Dniester regions for 1960–1963. Kyiv: Geoinform. [in Russian]

Mykhailov, V., Kurylo, M. (2017). Investment attractiveness estimation of objects of mineral resource base of Ukraine. *Materials of the IV scientificpractical conference "Subsoil use in Ukraine. Investment Prospects"*, Truskavets, November 6–10, 2017, 135–139. [in Ukrainian]

Mykhailov, V., Kurylo, M., & Kosharna, S. (2021). Geological and industrial assessment and ranking of promising objects of the domestic rare earth element base. Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology, 2(93), 32–40. https://doi.org/10.17721/1728-2713.93.04 [in Ukrainian]

State Geological Map of Ukraine. Scale 1:200,000. Central Ukrainian Series. Sheet M-35-XXIX (Vinnytsia). Kyiv: State Geological Service, Northern State Regional Geological Enterprise “Pivnichgeologiya”, Right-Bank Geological Expedition, 2006. [in Ukrainian]

Sukach, V.V., Vasylenko, A.P., & Heichenko, M.V. (2025). Rare earth metals of Ukraine: A strategic resource for the development of the modern global economy. Mineral Resources of Ukraine, 4, 3–8. https://doi.org/10.31996/mru.2025.4.3-8 [in Ukrainian]

УДК 553.04

ТЕХНОГЕННІ ОБ'ЄКТИ ЯК ВТОРИННЕ ДЖЕРЕЛО КРИТИЧНОЇ СИРОВИНИ: ОСОБЛИВОСТІ ГЕОЛОГО-ЕКОНОМІЧНОЇ ОЦІНКИ

Курило М.М., *д. геол. н., доцент, marikurylo@meta.ua;*
Котенко О.І., *аспірант, alexktenko@gmail.com,*
Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
ННІ Інститут геології, Київ, Україна

Зростання попиту на критичну сировину, необхідність диверсифікації її постачання та розвиток циркулярної економіки підвищують значення техногенних об'єктів як потенційного джерела вторинних мінеральних ресурсів. До таких об'єктів належать хвостосховища, відвали розкривних і вміщуючих порід, шламонакопичувачі, металургійні шлаки, золошлакові відвали, відходи переробки та інші накопичення, сформовані внаслідок господарської діяльності. В публікації показано, що сам факт наявності відходів або підвищених концентрацій цінних компонентів не є достатньою підставою для визнання техногенного накопичення ресурсним об'єктом. Геолого-економічна оцінка повинна поєднувати визначення кількості та якості матеріалу, просторової мінливості, мінеральних форм критичних компонентів, їх технологічної вилучуваності, можливості одержання товарного продукту, екологічних ефектів та економічної життєздатності проєкту. Запропоновано розглядати оцінювання техногенних об'єктів як інтегровану систему «ресурс – технологія – продукт – екологічний ефект – ринок». Особливого значення набуває застосування Рамкової класифікації ООН - United Nations Framework Classification for Resources/ UNFC до антропогенних ресурсів, що дозволяє одночасно враховувати ступінь достовірності вивчення, технічну готовність і соціально-економічну життєздатність проєкту.

Ключові слова: техногенні родовища, критична сировина, вторинна сировина, антропогенні ресурси, геолого-економічна оцінка, UNFC

TECHNOGENIC OBJECTS AS A SECONDARY SOURCE OF CRITICAL RAW MATERIALS: SPECIFIC FEATURES OF GEOLOGICAL AND ECONOMIC ASSESSMENT

Kurylo M., *Dr. Sci. (Geol.), Assoc. Prof., marikurylo@meta.ua;*
Kotenko O., *postgraduate, alexktenko@gmail.com,*
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Institute of Geology, Kyiv, Ukraine

The growing demand for critical raw materials, the need to diversify supply chains, and the transition toward a circular economy are increasing the importance of technogenic objects as potential sources of secondary mineral resources. Such objects include tailings storage facilities, waste-rock dumps, sludge ponds, metallurgical slags, coal combustion residues, processing wastes, and other anthropogenic accumulations formed as a result of industrial activities. The presence of waste or elevated concentrations of valuable components alone is insufficient to classify such accumulations as resource objects. Their geological and economic assessment should integrate the quantity and quality of material, spatial variability, mineral and phase occurrence of critical components, technological recoverability, potential production of marketable products, environmental effects, and overall economic viability. The assessment of technogenic objects is therefore proposed as an integrated system combining resource – technology – product – environmental effect – market. Particular attention should be paid to the application of the United Nations Framework Classification for Resources UNFC to anthropogenic resources, since it enables simultaneous consideration of the confidence in resource estimates, technical feasibility, and environmental and socio-economic viability of a project. This approach supports the transition from viewing industrial waste solely as an environmental liability toward evaluating selected anthropogenic accumulations as potential sources of critical raw materials.

Keywords: technogenic objects, critical minerals, secondary raw materials, anthropogenic resources, geological and economic assessment, UNFC

Вступ. Сучасна трансформація мінерально-сировинного сектору характеризується одночасною дією двох тенденцій. З одного боку, перехід до низьковуглецевої енергетики, електрифікація транспорту, цифровізація та розвиток високотехнологічних виробництв формують зростаючий попит на літій, кобальт, нікель, графіт, рідкісноземельні елементи, галій, германій, індій, тантал, ніобій та інші критичні види сировини. З іншого боку, багаторічна діяльність гірничодобувної, металургійної, енергетичної та інших галузей сформувала значні обсяги техногенних накопичень, у яких частина корисних компонентів залишилася невилученою.

Особливо значний потенціал пов'язаний із відходами гірничодобувної та збагачувальної промисловості. За даними Державної служби статистики України, у 2020 р. в Україні було утворено 462,4 млн т відходів, з яких 391,1 млн т, або близько 84,6 %, припадало на добувну промисловість і розроблення кар'єрів (Державна служба статистики України, 2021). Основними потоками утворення є розкривні породи, відвали пустих порід, хвости збагачення, шлами та некондиційні руди.

Таблиця 1

Порівняння основних потоків відходів: Україна, ЄС та США
(*за даними Eurostat, 2024, U.S. Environmental Protection Agency, 2020*)

Україна	*Європейський Союз*	*США*
1. Добувна промисловість ~85%	1. Будівництво 38%	1. Добувна промисловість
2. Переробна промисловість	2. Добувна промисловість 23%	2. Будівництво ~600 млн т
3. Енергетика	3. Відходи / очищення води	3. Тверді побутові відходи ~292 млн т
4. Сільське господарство	4. Переробна промисловість	4. Відходи енергетики
5. Інші види діяльності	5. Домогосподарства	5. Промислові відходи

Разом із тим поняття «відходи» та «техногенне родовище» є суттєво різними. Для відходів основною задачею управління є безпечне поводження, зменшення їх утворення, зберігання, переробка або видалення. Для техногенного ресурсного об'єкта центральним питанням стає інше: чи існує просторово визначене накопичення матеріалу, кількість, якість, технологічні властивості та економічні параметри якого дозволяють розглядати його як потенційне джерело корисних компонентів.

Метою дослідження є визначення основних особливостей геолого-економічної оцінки техногенних об'єктів як потенційних джерел критичної сировини та формування послідовності переходу від ідентифікації техногенного накопичення до обґрунтування можливості його промислового освоєння.

Особливості формування ресурсної бази техногенних об'єктів

Принциповою особливістю техногенних об'єктів є їх антропогенне походження. На відміну від природних родовищ, просторовий розподіл компонентів у них визначався не лише геологічними процесами, а й технологією видобування та переробки первинної сировини, схемою транспортування відходів, способом їх складування, змінами технологічних режимів підприємства та подальшими фізико-хімічними перетвореннями матеріалу.

Одне хвостосховище може містити матеріали, утворені протягом кількох десятиліть при різних схемах збагачення. Зміни крупності подрібнення, реагентного режиму, коефіцієнтів вилучення основного компонента або складу вихідної руди безпосередньо впливають на склад залишкового матеріалу. Тому середній хімічний аналіз техногенного тіла нерідко має обмежену інформаційну цінність без реконструкції історії його формування.

Для первинного вивчення доцільно використовувати історичну документацію підприємства: дані про обсяги видобутку й переробки, технологічні баланси, склад руди, вилучення основних компонентів, карти та маркшейдерські плани, інформацію щодо періодів експлуатації окремих ділянок накопичувача. Однак такі дані не замінюють сучасного геологічного вивчення.

Наступний етап передбачає визначення геометрії техногенного тіла, його площі, потужності, об'єму, насипної або об'ємної щільності, вологості, гранулометричного складу та просторового розподілу компонентів. Для цього можуть застосовуватися буріння, шурфування, траншеї, геофізичні методи, пробовідбір із поверхні та за глибиною, маркшейдерське знімання та цифрове 3D-моделювання.

Модель техногенного об’єкта повинна відображати не лише вміст корисного компонента, а й технологічні та фізичні властивості матеріалу. Для хвостосховищ важливими можуть бути зональність за крупністю, ступінь окиснення, вологість та водонасиченість; для відвалів – фрагментація, співвідношення різних типів порід і ступінь вивітрювання; для металургійних шлаків – різні фази кристалізації та неоднорідність за технологічними періодами.

Для геолого-економічної оцінки техногенного об’єкта особливо важливо розрізняти наявні, технологічно доступні для вилучення та економічно ефективні ресурси. Підвищений валовий вміст критичного елемента ще не гарантує можливості його промислового вилучення. Визначальними є мінеральна або фазова форма знаходження елемента, розмір зерен, ступінь розкриття, асоціація з іншими мінералами, розподіл за класами крупності, а також наявність домішок, які ускладнюють переробку або знижують якість продукту.

Наприклад, рідкісноземельні елементи можуть бути присутніми в техногенному матеріалі у відносно значних концентраціях, але знаходитися у фазах, з яких їх вилучення потребує складної гідрометалургійної схеми. В іншому випадку нижчий середній вміст може бути економічно більш привабливим, якщо компонент концентрується у легко відокремлюваній мінеральній фазі.

Технологічні дослідження мають проводитися одночасно з ресурсним оцінюванням. Комплекс досліджень доцільно включати мінералогічний аналіз, визначення форм знаходження цінних компонентів, лабораторне та укрупнено-лабораторне збагачення, гравітаційні, магнітні, флотаційні або гідрометалургійні випробування та складання матеріального балансу.

Для критичної сировини кінцевим показником повинна бути не лише вміст компонентів, а кількість компонентів, які можуть бути переведені в ринковий продукт заданої специфікації. Це можуть бути концентрат, проміжний продукт, оксид, сіль, метал або інший товарний продукт. Такий підхід принципово змінює логіку оцінки: від класичної залежності «тоннаж × вміст» вона переходить до системи:

Геолого-економічна оцінка багатокомпонентних систем. Техногенні об’єкти часто мають комплексний склад. Матеріал, який історично формувався як відхід при вилученні одного головного компонента, може містити інші елементи, що на час первинної переробки не мали промислового значення або не вилучалися через технологічні обмеження.

За узагальненням матеріалів щодо основних потоків техногенних відходів, гірничі відвали та хвости можуть бути потенційними джерелами Fe, Mn, Ti, Zr, Cu, Zn, Pb, Ni, Co, Li, REE, Sc, Ga, Ge, V та U; металургійні шлаки і шлами – Fe, Zn, Pb, Cu, Ni, Cr, V, Ti, Al, Sc, Ga, Ge, In та металів платинової групи; золошлакові матеріали – REE, Ge, Ga, Sc і V. Потоки електронних відходів та відпрацьованих батарей, у свою чергу, концентрують Li, Co, Ni, Mn, Cu, Au, Ag, метали платинової групи та рідкісноземельні елементи. Утворення техногенних родовищ

Це обумовлює необхідність комплексної, а не монокомпонентної оцінки. Економічна життєздатність проєкту може визначатися сукупністю декількох продуктів. Компонент, який не є самостійно прибутковим, може суттєво підвищувати загальну економіку проєкту як супутний продукт.

Одночасно необхідно враховувати можливість використання мінеральної частини залишкового матеріалу. Після вилучення металів частина техногенної сировини потенційно може використовуватися як будівельний матеріал, заповнювач, сировина для цементного виробництва або рекультивації. Це зменшує обсяг кінцевих відходів і створює додатковий економічний та екологічний ефект.

Сценарний характер економічної оцінки. При проведенні геолого-економічної оцінки доцільно порівнювати альтернативні сценарії поводження з накопиченим матеріалом:

1) подальше зберігання без вилучення корисних компонентів. Він може передбачати витрати на моніторинг, підтримання безпеки гідротехнічних споруд, водовідведення, пилопригнічення та майбутню рекультивацію.

2) переробка виключно з метою екологічної реабілітації території або скорочення обсягу накопичення.

3) комплексне вилучення цінних компонентів із виробництвом одного або декількох товарних продуктів та можливим повторним використанням залишку.

Додатковою економічною перевагою техногенного проєкту можуть бути не лише доходи від реалізації продукції, але й уникнені витрати на довгострокове утримання відвалу чи хвостосховища, рекультивацію, поводження з небезпечними матеріалами або зайняття земель.

Водночас техногенні об'єкти мають специфічні витрати: повторне переміщення матеріалу, осушення хвостів, підготовка до переробки, стабілізація об'єкта, очищення вод, поводження з потенційно небезпечними компонентами та приведення території до безпечного стану після завершення робіт. Отже, традиційні показники NPV, IRR, строку окупності та операційних витрат мають доповнюватися оцінкою екологічних ефектів, уникнених витрат та вартості реабілітації території.

Міжнародний контекст та роль UNFC. Значення техногенних ресурсів дедалі чіткіше відображається в європейській сировинній політиці. Регламент ЄС 2024/1252 Critical Raw Materials Act безпосередньо передбачає оцінювання можливостей вилучення критичної сировини з видобувних відходів. Для відповідних об'єктів попередня економічна оцінка має включати, зокрема, кількість і концентрації критичних видів сировини та аналіз їх технічної достіпності [2].

Актуальність такого підходу підтверджується масштабами відходів. У ЄС у 2022 р. будівництво і демонтаж формували 38,4 % загального потоку відходів, а видобування корисних копалин і кар'єри – 22,7 %. [3-4]. Для України, навпаки, характерне особливо значне домінування саме відходів добувної промисловості, що визначає високий потенціал історичних хвостосховищ, відвалів і шламонакопичувачів як об'єктів подальшого ресурсного скринінгу. Утворення техногенних родовищ

Методологічною основою для системного опису таких проєктів може бути United Nations Framework Classification for Resources UNFC. UNECE поширила UNFC на антропогенні ресурси; оновлені додаткові специфікації для їх класифікації були схвалені у 2025 р. (*United Nations Economic Commission for Europe, 2025*).

Перевага UNFC для техногенних об'єктів полягає в тому, що система не обмежується оцінкою тоннажу та вмісту. Вона дозволяє одночасно оцінити три взаємопов'язані аспекти проєкту: E – екологічну та соціально-економічну життєздатність; F – технічну здійсненність та зрілість проєкту; G – ступінь достовірності кількісної оцінки ресурсу.

Для техногенних об'єктів це особливо важливо. Велике хвостосховище з високим потенційним вмістом критичного компонента може мати значний ресурсний потенціал за віссю G, однак залишатися незрілим за F через відсутність підтвердженої технології вилучення або за E через несприятливі економічні, екологічні чи правові умови. Тому поняття «великий ресурс» не повинно автоматично ототожнюватися з «готовим до освоєння проєктом».

Особливості підходу до геолого-економічної оцінки. З урахуванням зазначеного геолого-економічну оцінку техногенного об'єкта доцільно здійснювати послідовно:

1. Ідентифікація об'єкта та попередній скринінг – походження, історія формування, орієнтовний обсяг, потенційні критичні компоненти.
2. Збір та верифікація архівної інформації – технологічні баланси, склад вихідної сировини, маркшейдерські дані, історія складування.
3. Просторове та геологічне вивчення – геометрія об'єкта, пробовідбір, щільність, вологість, гранулометричний склад, 3D-модель.

4. Хімічна і мінералогічна характеристика – вміст основних, попутних і шкідливих компонентів, форми знаходження критичних елементів.

5. Технологічні дослідження – визначення принципової схеми переробки, вилучення, виходу та якості потенційних продуктів.

6. Оцінка ресурсів та матеріального балансу – кількість матеріалу, металу в техногенному тілі, технологічно доступна кількість і прогнозний обсяг продуктів.

7. Екологічна оцінка – вплив існуючого накопичення, зміни ризиків у результаті переробки та поводження з залишками.

8. Економічна оцінка – CAPEX, OPEX, доходи, попутні продукти, уникнені витрати, чутливість до цін, вилучення та масштабу виробництва.

9. Оцінка проєктної зрілості із використанням категорій UNFC.

10. Вибір оптимального сценарію освоєння – повна або селективна переробка, повторне використання матеріалу, комбінований підхід чи збереження об'єкта.

Особливістю запропонованого підходу є трактування геолого-економічної оцінки техногенних об'єктів не як спрощеного аналога оцінки первинного родовища, а як окремої багатокомпонентної системи. Для таких об'єктів ключовим результатом має бути встановлення не лише кількості критичного компонента в накопиченому матеріалі, а економічно ефективної кількості в товарному продукті з урахуванням технологічних характеристик, екологічних ефектів і можливості повторного використання залишкового матеріалу. Це дозволяє перейти від моделі «відхід як екологічна проблема» до моделі «антропогенний матеріал як потенційний ресурс», але лише за умови доведення його кількісних, якісних, технологічних та економічних характеристик.

Висновки. Техногенні об'єкти можуть становити вагоме вторинне джерело критичної сировини, особливо для країн із тривалою історією гірничодобувної та металургійної діяльності. Для України найбільш перспективним напрямом первинного скринінгу є накопичення добувної та збагачувальної промисловості – хвости, відвали, шлами та некондиційні руди, на які припадає основна маса промислових відходів країни.

Водночас факт наявності відходів не є достатнім для віднесення об'єкта до ресурсної бази. Геолого-економічна оцінка повинна підтвердити просторові параметри техногенного тіла, кількість і якість матеріалу, мінеральні форми цінних компонентів, технологічну можливість їх вилучення, одержання товарних продуктів та економічну життєздатність відповідного проєкту.

Для критичної сировини особливе значення має перехід від оцінювання валового вмісту до оцінювання технологічно та економічно ефективного ресурсу. У зв'язку з цим ресурсні, мінералогічні, технологічні, екологічні та економічні дослідження повинні формувати єдину систему.

Застосування UNFC до антропогенних ресурсів дозволяє пов'язати кількісну достовірність ресурсу з технічною зрілістю та соціально-економічною життєздатністю проєкту і є перспективним інструментом для формування портфеля проєктів повторного освоєння техногенних об'єктів. Розвиток такого підходу створює передумови не лише для розширення ресурсної бази критичної сировини, а й для зменшення накопичених екологічних ризиків та практичної реалізації принципів циркулярної економіки.

Список використаних джерел:

Державна служба статистики України. (2021). *Промисловість України у 2016–2020 роках: Статистичний збірник*. Державна служба статистики України. Державна служба статистики України zb_prom_16_20.pdf

European Parliament, & Council of the European Union. (2024). Regulation (EU) 2024/1252 of the European Parliament and of the Council of 11 April 2024 establishing a framework for ensuring a secure and sustainable supply of critical raw materials and amending Regulations (EU) No 168/2013, (EU) 2018/858, (EU) 2018/1724 and (EU) 2019/1020. *Official*

Journal of the European Union. Eur-Lex https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1746446409816&uri=CELEX%3A32024R1252&utm_source

Eurostat. (2024). *Waste generation by economic activities and households, EU, 2022*. European Commission. European Commission https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/SEPDF/cache/1183.pdf?v=6945944304836461&utm_source

United Nations Economic Commission for Europe. (2025). *Supplementary specifications for the application of the United Nations Framework Classification for Resources to anthropogenic resources* (ECE/ENERGY/GE.3/2025/8). United Nations. UNECE https://unece.org/sites/default/files/2025-03/ECE-ENERGY-GE.3-2025-8_UNFCAnthropSpecs.pdf?utm_source

U.S. Environmental Protection Agency. (2020). *Advancing sustainable materials management: 2018 fact sheet*. U.S. Environmental Protection Agency. US EPA https://www.epa.gov/sites/default/files/2021-01/documents/2018_ff_fact_sheet_dec_2020_fnl_508.pdf?_sp=e2a2178b-cc0f-4df7-b4bf-64e5e0404c3b&utm_source

U.S. Environmental Protection Agency. (n.d.). *National overview: Facts and figures on materials, wastes and recycling*. U.S. Environmental Protection Agency. US EPA https://www.epa.gov/facts-and-figures-about-materials-waste-and-recycling/national-overview-facts-and-figures-materials?utm_source

References

Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy [State Statistics Service of Ukraine]. (2021). *Promyslovist Ukrainy u 2016–2020 rokakh: Statystychnyi zbirnyk [Industry of Ukraine in 2016–2020: Statistical publication]*. State Statistics Service of Ukraine. [in Ukrainian] Державна служба статистики України zb_prom_16_20.pdf

European Parliament, & Council of the European Union. (2024). Regulation (EU) 2024/1252 of the European Parliament and of the Council of 11 April 2024 establishing a framework for ensuring a secure and sustainable supply of critical raw materials and amending Regulations (EU) No 168/2013, (EU) 2018/858, (EU) 2018/1724 and (EU) 2019/1020. *Official Journal of the European Union*. Eur-Lex https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1746446409816&uri=CELEX%3A32024R1252&utm_source

Eurostat. (2024). *Waste generation by economic activities and households, EU, 2022*. European Commission. European Commission https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/SEPDF/cache/1183.pdf?v=9185585341425544&utm_source

United Nations Economic Commission for Europe. (2025). *Supplementary specifications for the application of the United Nations Framework Classification for Resources to anthropogenic resources* (ECE/ENERGY/GE.3/2025/8). United Nations. UNECE https://unece.org/sites/default/files/2025-03/ECE-ENERGY-GE.3-2025-8_UNFCAnthropSpecs.pdf?utm_source

U.S. Environmental Protection Agency. (2020). *Advancing sustainable materials management: 2018 fact sheet*. U.S. Environmental Protection Agency. US EPA https://www.epa.gov/sites/default/files/2021-01/documents/2018_ff_fact_sheet_dec_2020_fnl_508.pdf?_sp=e2a2178b-cc0f-4df7-b4bf-64e5e0404c3b&utm_source

U.S. Environmental Protection Agency. (n.d.). *National overview: Facts and figures on materials, wastes and recycling*. U.S. Environmental Protection Agency. US EPA https://www.epa.gov/facts-and-figures-about-materials-waste-and-recycling/national-overview-facts-and-figures-materials?utm_source

УДК 553.04

ВІД ЗАПАСІВ КРИТИЧНИХ КОРИСНИХ КОПАЛИН ДО ЖИТТЄЗДАТНОГО ВИДОБУВНОГО ПРОЄКТУ: УКРАЇНСЬКІ ОСОБЛИВОСТІ ТА ВИКЛИКИ

Курило М.М., *д. геол. н., m.kurylo@pobuzhye.com.ua;*
BGV Group management, Київ, Україна

Україна має значну мінерально-сировинну базу критичних і стратегічних корисних копалин, однак наявність розвіданих та затверджених запасів сама по собі не забезпечує створення економічно життєздатного видобувного проєкту. У роботі розглянуто основні етапи трансформації геологічного об'єкта із встановленими запасами у проєкт, придатний для технічної реалізації та залучення інвестицій. Виділено українські особливості цього процесу, пов'язані з історично сформованою структурою геологічної інформації, рівнем технологічної вивченості окремих родовищ, необхідністю переоцінки комплексності сировини, визначення потенційних товарних продуктів, сучасними вимогами до екологічної та соціальної складових і міжнародними вимогами до обґрунтування ресурсів та запасів. Показано, що для родовищ критичних корисних копалин особливе значення має рання інтеграція геологічної, технологічної, економічної та ринкової оцінок. Запропоновано розглядати готовність родовища до освоєння як результат послідовного зниження геологічних, технологічних, економічних, регуляторних і ринкових ризиків.

Ключові слова: критичні корисні копалини, запаси, видобувний проєкт, геолого-економічна оцінка.

FROM CRITICAL MINERAL RESERVES TO A VIABLE MINING PROJECT: UKRAINIAN SPECIFICS AND CHALLENGES

Kurylo M., *Dr. Sci. (Geol.), m.kurylo@pobuzhye.com.ua,*
Mining Division BGV Group Management, Kyiv, Ukraine

Ukraine has a significant mineral resource base of critical and strategic minerals; however, the availability of explored and officially approved reserves alone does not ensure the development of an economically viable mining project. The paper considers the key stages in transforming a geological asset with identified reserves into a project suitable for technical implementation and investment. Particular attention is paid to Ukrainian-specific challenges related to the historically established structure of geological information, the technological maturity of deposits, the need to reassess multi-component ores, identification of potential marketable products, modern environmental and social requirements, and international approaches to mineral resource and reserve reporting. For critical mineral deposits, early integration of geological, technological, economic and market assessments is particularly important. Project readiness is proposed to be considered as a process of progressive reduction of geological, technological, economic, regulatory and market risks. This approach enables a transition from the formal availability of mineral reserves to the assessment of the actual feasibility and investment readiness of a mining project.

Keywords: critical minerals, mineral reserves, mining project, geological and economic evaluation.

Вступ. Підвищення попиту на критичну мінеральну сировину та формування нових ланцюгів її постачання створюють для України можливості для залучення інвестицій у освоєння власної мінерально-сировинної бази. У 2025 році в Україні нормативно визначено переліки корисних копалин і компонентів стратегічного та критичного значення, а у 2026 році схвалено довгострокову Стратегію розвитку галузей промисловості на основі таких корисних копалин і компонентів (*Про затвердження переліків..,*2025; *Про схвалення Стратегії.., 2026; European Commission*, 2021; *Угода між Урядом України та Урядом США, 2025*). Водночас поняття та переліки критичних і стратегічних мінеральних ресурсів в Україні, Європейському Союзі та Сполучених Штатах не є повністю тотожними, оскільки формуються відповідно до різних економічних, промислових і безпекових пріоритетів. Для України особливого значення набуває та частина мінерально-сировинної бази, яка одночасно відповідає національним пріоритетам та може бути інтегрована у міжнародні ланцюги постачання в межах Стратегічного партнерства Україна–ЄС у сфері сировини та Угоди між Україною і США про створення Американсько-Українського інвестиційного фонду відбудови. Європейське партнерство орієнтоване передусім на інтеграцію ланцюгів створення вартості критичної сировини та акумуляторів, тоді як українсько-американська угода створює інвестиційний механізм для розвитку проєктів у сфері природних ресурсів, що робить питання доведення українських родовищ до рівня життєздатних інвестиційних проєктів особливо актуальним

(*Про затвердження переліків..,*2025; *Про схвалення Стратегії.., 2026; European Commission*, 2021; *Угода між Урядом України та Урядом США, 2025*).

Разом із тим значна частина українських родовищ критичних корисних копалин була розвідана у попередні десятиліття за іншої структури попиту, технологічних можливостей і принципів економічної оцінки. Тому наявність значних балансових запасів або перспективних ресурсів не означає автоматичної готовності об'єкта до промислового освоєння.

У міжнародній практиці інвестиційне рішення формується не лише на основі кількості та якості мінеральної сировини. Воно є результатом комплексної оцінки геологічної достовірності, технології переробки, можливого товарного продукту, капітальних та операційних витрат, інфраструктури, екологічних і соціальних факторів, регуляторних умов, ринку та доступу до фінансування.

Метою роботи є визначення ключових факторів переходу від затверджених запасів критичних корисних копалин до життєздатного видобувного проєкту та систематизація основних особливостей і викликів такого переходу для українських родовищ.

Основний матеріал. Для традиційних видів мінеральної сировини зв'язок між геологічною оцінкою родовища, технологією його освоєння та товарною продукцією часто є відносно усталеним. Для більшості критичних корисних копалин така залежність значно складніша. Економічна цінність родовища може формуватися не одним головним компонентом, а сукупністю основних і супутніх компонентів, можливість вилучення яких залежить від мінеральної форми, текстурно-структурних характеристик руд та обраної технологічної схеми.

Тому першим принциповим етапом переходу від запасів до проєкту є актуалізація геологічної моделі та вихідних даних. Для родовищ, досліджених десятки років тому, необхідною може бути верифікація первинної геологічної інформації, результатів опробування, аналітичних даних, об'ємної маси, просторової мінливості корисних компонентів та геометрії рудних тіл. Окремим завданням є визначення того, наскільки наявна інформація відповідає сучасним вимогам до створення тривимірної геологічної та ресурсної моделі.

Другим ключовим етапом є технологічна вивченість сировини. Саме цей фактор для багатьох родовищ критичних мінералів стає одним із головних обмежень переходу до інвестиційної стадії. Історичні технологічні дослідження могли бути орієнтовані на отримання іншого продукту, проводитися за технологіями, які сьогодні не відповідають ринковим або екологічним вимогам, або не враховувати потенційну цінність супутніх компонентів.

Сучасна технологічна оцінка повинна відповідати не лише на питання щодо можливого коефіцієнта вилучення основного компонента. Необхідно встановити потенційну технологічну схему, характеристики концентратів або інших кінцевих і проміжних продуктів, баланс розподілу компонентів між продуктами і відходами, можливість вилучення супутніх критичних елементів, а також технологічні обмеження, пов'язані зі шкідливими домішками.

Третім фактором є визначення товарного продукту та його ринку. Значний вміст критичного елемента у надрах не є самостійною економічною характеристикою проєкту. Вартість формується лише тоді, коли визначено продукт, який може бути отриманий за реальною технологічною схемою та реалізований на відповідному ринку. Для різних критичних мінералів таким продуктом можуть бути концентрати, оксиди, солі, метали або продукти більш глибокої переробки.

Відповідно, аналіз ринку має здійснюватися паралельно з технологічними дослідженнями, а не після їх завершення. Специфікації потенційного покупця щодо вмісту корисного компонента, домішок, вологості, гранулометрії та інших параметрів можуть безпосередньо впливати на вибір технологічної схеми.

Четвертим блоком є економічна оцінка проєкту. Для переходу від запасів до життєздатного видобувного проєкту необхідно оцінювати не лише потенційну валову вартість сировини, але й повний комплекс капітальних та операційних витрат, продуктивність підприємства, термін будівництва і виходу на проєктну потужність, потребу в інфраструктурі, енергозабезпеченні, воді, транспорті та переробних потужностях.

Особливо важливим для критичних корисних копалин є врахування високої волатильності окремих ринків, обмеженої кількості покупців, непрозорості цін на частину продуктів та значної залежності вартості від якості кінцевого продукту. Тому економічна оцінка повинна передбачати декілька сценаріїв і аналіз чутливості ключових показників проєкту.

П'ятим блоком є регуляторна, екологічна та інфраструктурна готовність. Життєздатність проєкту визначається не лише характеристиками родовища. Необхідно враховувати статус права користування надрами, можливість отримання необхідних дозволів, доступ до земельних ділянок, екологічні обмеження, водокористування, поводження з відходами, доступність електроенергії, автомобільної та залізничної інфраструктури.

Для України додаткового значення набувають безпекові ризики, стан інфраструктури та необхідність її відновлення або створення, що має бути включено до оцінки вже на ранніх стадіях планування проєкту.

У травні 2026 року Кабінетом Міністрів України схвалено Стратегію розвитку галузей промисловості на основі корисних копалин та компонентів стратегічного та критичного значення на період до 2056 року. Серед передбачених напрямів - верифікація ресурсів і запасів пріоритетних родовищ за міжнародно визнаними системами та розвиток переробних виробництв із більшою доданою вартістю (*Про схвалення Стратегії.., 2026*). Це підкреслює поступовий перехід державної політики від оцінювання лише наявності мінерально-сировинної бази до розвитку повних виробничих ланцюгів.

Для українських родовищ критичних корисних копалин можна виділити декілька основних груп ризиків переходу від запасів до проєкту:

1. геологічні - достатність, достовірність і сучасність вихідних даних;
2. технологічні - можливість стабільного вилучення компонентів та отримання товарного продукту;
3. ринкові - наявність покупця, відповідність продукту його специфікаціям та цінова невизначеність;
4. економічні та фінансові - CAPEX, OPEX, доступність фінансування та стійкість економіки проєкту до зміни вихідних припущень;
5. регуляторні та екологічні - дозвільні процедури, екологічні обмеження та вимоги до управління відходами;
6. інфраструктурні та безпекові - доступність енергетичної, транспортної та іншої інфраструктури та можливість стабільної реалізації проєкту.

Зниження цих ризиків має здійснюватися не послідовно ізольованими блоками, а через інтегроване дослідження проєкту. Результати технологічних тестів можуть вимагати зміни геологічної моделі та принципів доменування; ринкові вимоги — коригування технологічної схеми; інфраструктурні та екологічні обмеження - зміни виробничої потужності або способу розробки.

Узагальнення і співставлення життєвого циклу добувних проетків наведено на рис. 1.

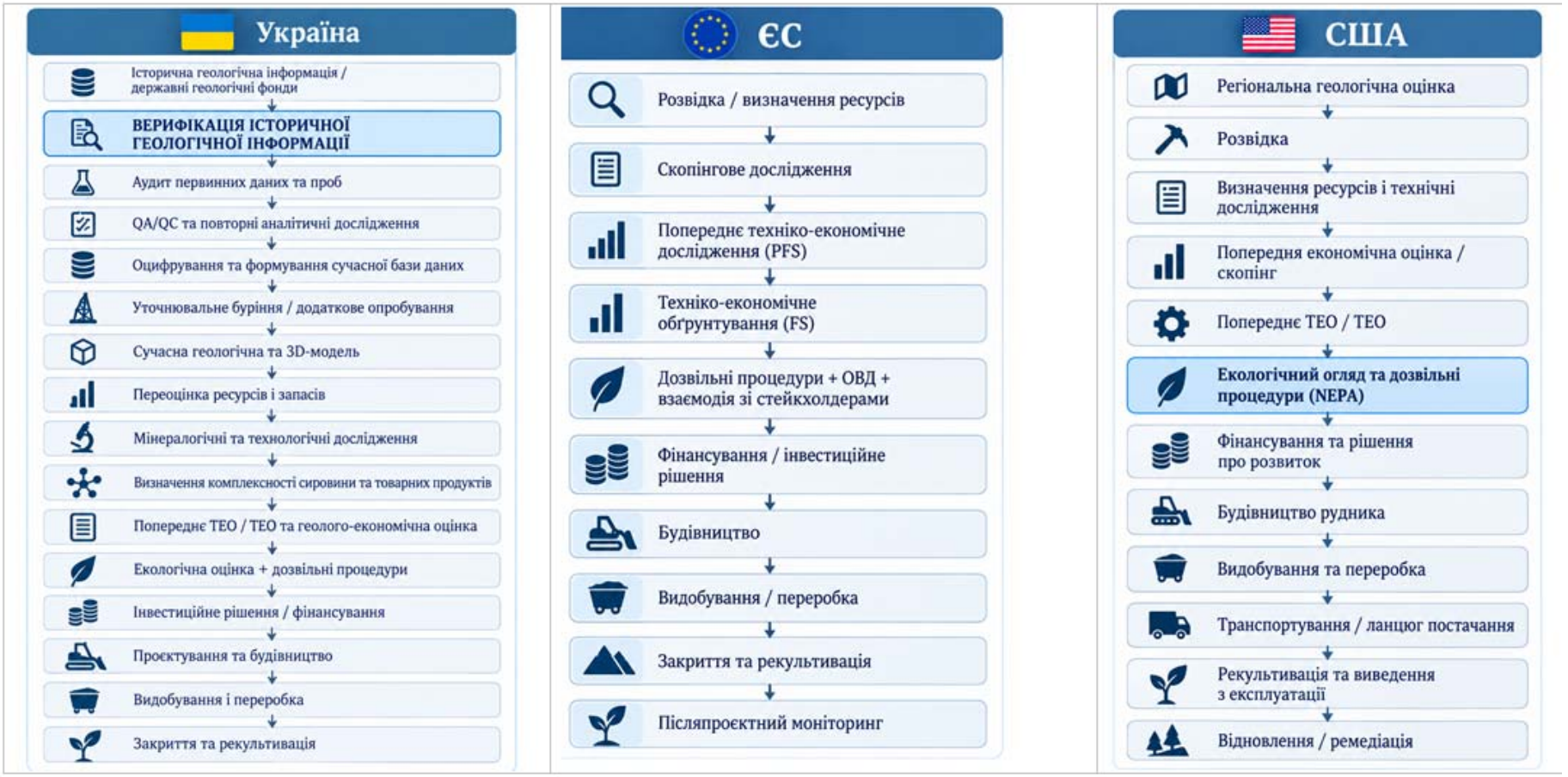


Рис. 1. Порівняння підходів до життєвого циклу видобувних проєктів: Україна, ЄС та США
(узагальнено за даними *Про затвердження переліків..*,2025; *Про схвалення Стратегії.., 2026; European Commission*, 2021; *Mineral resources life cycle*, 2025)

Висновки. Наявність затверджених запасів критичних корисних копалин є вихідною, але не достатньою умовою для формування життєздатного видобувного проєкту.

Для значної частини українських родовищ ключовим завданням є не повторна констатація їх мінерально-сировинного потенціалу, а визначення реальної проєктної готовності: достатності геологічної інформації, технологічної можливості отримання конкурентного продукту, комплексності використання сировини, економічної ефективності, регуляторної та інфраструктурної забезпеченості.

Для критичних корисних копалин геологічна, технологічна, ринкова та економічна оцінки повинні виконуватися як взаємопов'язані складові одного процесу. Такий підхід дозволяє перейти від категорії «родовище із запасами» до категорії інвестиційно обґрунтованого видобувного проєкту, для якого визначені продукт, технологічна схема, ринок, основні ризики та шляхи їх зниження.

Список використаних джерел:

Кабінет Міністрів України. (2025). *Про затвердження переліків корисних копалин та компонентів стратегічного та критичного значення і переліків ділянок надр (родовищ корисних копалин) стратегічного та (або) критичного значення* (Постанова № 845 від 14 липня 2025 р.). Верховна Рада України. Законодавство України

Кабінет Міністрів України. (2026). *Про схвалення Стратегії розвитку галузей промисловості на основі корисних копалин та компонентів стратегічного та критичного значення на період до 2056 року та затвердження операційного плану з її реалізації у 2026–2028 роках* (Розпорядження № 569-р від 27 травня 2026 р.). Верховна Рада України. Законодавство України

European Commission. (2021, July 13). *EU and Ukraine kick-start strategic partnership on raw materials*. Directorate-General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs. Internal Market & Industry

Міністерство економіки України. (2025, 1 травня). *Угода між Урядом України та Урядом Сполучених Штатів Америки про створення Американсько-українського інвестиційного фонду відбудови — текст Угоди*. Міністерство економіки

European Parliament & Council of the European Union. (2024). *Regulation (EU) 2024/1252 of the European Parliament and of the Council of 11 April 2024 establishing a framework for ensuring a secure and sustainable supply of critical raw materials and amending Regulations (EU) No 168/2013, (EU) 2018/858, (EU) 2018/1724 and (EU) 2019/1020*. *Official Journal of the European Union*. Eur-Lex

U.S. Geological Survey. (2025, January 16). *Mineral resources life cycle*. U.S. Department of the Interior. USGS

References

European Commission. (2021, July 13). *EU and Ukraine kick-start strategic partnership on raw materials*. Directorate-General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs. Internal Market & Industry

European Parliament & Council of the European Union. (2024). *Regulation (EU) 2024/1252 of the European Parliament and of the Council of 11 April 2024 establishing a framework for ensuring a secure and sustainable supply of critical raw materials and amending Regulations (EU) No 168/2013, (EU) 2018/858, (EU) 2018/1724 and (EU) 2019/1020*. *Official Journal of the European Union*. Eur-Lex

Cabinet of Ministers of Ukraine. (2025). *On approval of the lists of minerals and components of strategic and critical importance and the lists of subsoil areas (mineral deposits) of strategic and/or critical importance* (Resolution No. 845 of July 14, 2025) [in Ukrainian]. Verkhovna Rada of Ukraine. Законодавство України

Cabinet of Ministers of Ukraine. (2026). *On approval of the Strategy for the development of industries based on minerals and components of strategic and critical importance for the period until 2056 and approval of the operational plan for its implementation in 2026–2028* (Order No. 569-r of May 27, 2026) [in Ukrainian]. Verkhovna Rada of Ukraine. Законодавство України

Ministry of Economy of Ukraine. (2025, May 1). *Agreement between the Government of Ukraine and the Government of the United States of America on the establishment of the United States-Ukraine Reconstruction Investment Fund* [in Ukrainian]. Міністерство економіки

U.S. Geological Survey. (2025, January 16). *Mineral resources life cycle*. U.S. Department of the Interior. USGS

УДК 622.271

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗЕМЛЕЗБЕРЕЖЕННЯ ПРИ РОЗРОБЦІ РОДОВИЩ ТИТАН-ЦИРКОНІЄВИХ РУД ШЛЯХОМ ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ЗАМКНУТОГО ЦИКЛУ

Ложніков О.В., *д. техн. н., професор, ORCID ID 0000-0003-1231-0295,*
Lozhnikov.O.V@nmu.one;
НТУ «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

Досліджено актуальну проблему мінімізації екологічних наслідків видобутку критичної сировини в Україні на прикладі розробки обводненої Мотронівсько-Аннівської ділянки Малишевського титан-цирконієвого родовища. Низький вміст корисних компонентів (близько 1% у гірничій масі) за традиційних технологій вимагає значного відчуження земель під хвостосховища. Метою роботи є оцінка впливу технологій замкнутого циклу на показники землекористування гірничого підприємства. Методом математичного моделювання проведено порівняльний аналіз динаміки порушення земель для класичної та запропонованої схем протягом перших 20 років експлуатації кар'єру. Запропоновано технологічне рішення, що передбачає попереднє збагачення руди біля розрізної траншеї з поверненням 80% відходів у внутрішній відвал та впровадження цеху переробки хвостів стаціонарної фабрики. Це дозволяє утилізувати кварцові піски для будівельної галузі та впровадити паралельну потокову рекультивацію. Доведено, що за замкнутого циклу площа порушених земель за 20 років збільшиться лише у 3,1 рази (з 27 до 84 га), тоді як за класичної схеми – у 6,3 рази (до 209 га). Наукова новизна полягає у визначенні динамічного ефекту землезбереження, який математично доводить доцільність поєднання технологій замкнутого циклу із безперервним відновленням порушених земель.

Ключові слова: технологія замкнутого циклу, титан-цирконієві родовища, землезбереження

IMPROVING THE EFFICIENCY OF LAND CONSERVATION DURING THE DEVELOPMENT OF TITANIUM-ZIRCONIUM DEPOSITS THROUGH THE IMPLEMENTATION OF CLOSED-CYCLE TECHNOLOGIES

Lozhnikov O., *Dr. Sci. (Eng.), Professor, ORCID ID 0000-0003-1231-0295,*
Lozhnikov.O.V@nmu.one;
*Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine*This study addresses the pressing issue of minimizing the environmental impact of critical raw material extraction in Ukraine, using the water-saturated Motronivka-Annivka section of the Malyshivske titanium-zirconium deposit as a case study. Due to the low content of valuable components (approximately 1% of the mined mass), traditional technologies necessitate the allocation of vast land areas for tailings storage facilities. The study aims to evaluate the impact of closed-cycle technologies on the mining enterprise's land-use metrics. Mathematical modeling was employed to compare land disturbance dynamics under the conventional and proposed schemes over the first 20 years of open-pit operations. A technological solution is proposed that involves preliminary ore beneficiation near the initial excavation trench, returning 80% of the waste to an internal dump, and implementing a tailings processing unit at the stationary plant. This approach enables the utilization of quartz sands in the construction industry and facilitates concurrent land reclamation. It is demonstrated that, under a closed-cycle system, the area of disturbed land would increase only 3.1-fold (from 27 to 84 hectares) over 20 years, whereas the conventional scheme would result in a 6.3-fold increase (to 209 hectares). The scientific novelty lies in identifying the dynamic land-conservation effect, which mathematically substantiates the benefits of combining closed-cycle technologies with the continuous restoration of disturbed land.

Keywords: closed-cycle technology, titanium-zirconium deposits, land conservation

Вступ. Освоєння критичної мінеральної сировини є вагомим рушієм економічного зростання та промислового розвитку України. Оскільки наша країна володіє значним запасом різних видів корисних копалин, найбільш перспективним є розробка родовищ, запаси яких встановлені, а інфраструктура підготовлена до швидкого збільшення промислових потужностей. До таких родовищ в Україні можна віднести титан-цирконієві, за запасами яких наша країна входить до п'ятірки світових лідерів. В цих родовищах містяться ільменіт, рутил та циркон та інші, що дозволяє ефективно застосовувати комплексний підхід.

Найбільш перспективним для освоєння титан-цирконієвих руд в Україні на сьогодні є Мотронівсько-Аннівська ділянка Малишевського родовища, оцінені запаси якого

складають понад 150,0 млн м^3. При проєктній продуктивності кар'єру 2,7 млн м^3, термін його експлуатації складатиме 55 років. За цей час має бути відпрацьовано більше 840 млн м^3 гірничої маси, з яких породи розкриву сягатимуть майже 700 млн м^3, у хвостосховища буде спрямовано понад 140 млн^3 хвостів збагачення. Такі значні об'єми відходів виробництва і хвостів збагачення обумовлені вкрай низьким вмістом титан-цирконієвих металів у руді і в цілому в гірничій масі у контурах кар'єру. За попередніми оцінками у руді міститься лише 5 % цінних мінералів по об'єму, у той час як гірничій масі кар'єру їх частка складає приблизно 1 %. Формування таких великих об'ємів відходів виробництва разом з хвостами збагачення призводить до необхідності залучення великих площ додаткових земель, які можуть перевищувати розміри самих гірничих виробок кар'єру.

Таким чином питання комплексного освоєння титан-цирконієвих родовищ у поєднанні з принципами технологій замкнутого циклу дозволять підвищити рівень вилучення цінної мінеральної сировини з хвостів збагачення. Також за рахунок розділення і подальшого окремого складування піщано-глинистої суміші, що міститься у руді, з'явиться можливість суттєво зменшити площі хвостосховищ з перетворенням техногенного ресурсу на супутні корисні копалини.

Виклад основного матеріалу. Метою проведених досліджень є встановлення впливу впровадження технологій замкнутого циклу у розробку титан-цирконієвих родовищ на показники землекористування гірничого підприємства.

Впровадження технологій замкнутого циклу, які включають у себе оптимізацію процесів збагачення руди і управлінні відходами, дозволяють суттєво покращити показники рекультивації земель та підвищити ефективність землекористування. Для даних родовищ замкнутий цикл передбачає видобуток руди в кар'єрі, після чого вона спрямовується на збагачувальну фабрику колективного концентрату поряд з розрізною траншеєю, де відбувається попереднє відділення важкої фракції від вмісних порід. Цей процес безпосередньо впливає на організацію роботи усього підприємства, адже понад 80 % від усього об'єму руди відділяється з мінімальними енерговитратами і складується у внутрішньому відвалі кар'єру без необхідності подальшого транспортування за стаціонарну збагачувальну фабрику.

Решта 20 % руди з важкою мінеральною фракцією спрямовується на стаціонарну збагачувальну фабрику, що розташована поряд із капітальною траншеєю. На стаціонарній фабриці відбувається відділення важкої фракції і за класичної технології решта піщано-глинистої суміші з доводками збагачення спрямовується на хвостосховище. Відмінність технології замкнутого циклу полягає у впровадженні у виробничий цикл цеху переробки хвостів збагачення, що розміщується на виході зі стаціонарної збагачувальної фабрики. За рахунок цієї зміни у технологічному ланцюгу, важка мінеральна фракція у повному об'ємі вилучається з рудних пісків, а у відвали потрапляють лише вмісні породи.

Результати. Запропоновані технологічні підходи безпосередньо впливають на ключові показники землекористування. В основному це відбувається за рахунок скорочення площі тимчасово вилучених земель для розміщення хвостів збагачення. Традиційний видобуток вимагає величезних територій під зовнішні хвостосховища, оскільки до 95% руди представлені вмісними піщано-глинистими породами. Таким чином застосування замкнутого циклу дозволяє мінімізувати ці площі, при цьому вмісні рудні піщано-глинисті породи окремо розміщаються у внутрішньому відвалі. Оскільки вмісні породи після збагачення руди одразу повертаються у вже відпрацьований простір кар'єру, тому повністю зникає потреба у відчуженні нових ділянок під довгострокові зовнішні хвостосховища.

Наступною перевагою технології замкнутого циклу є те, що додатково виникає можливість прискорити темпи рекультивації та повернути землі в економічне використання. В існуючій технологічній схемі рекультивація хвостосховищ починається лише після повного завершення відпрацювання кар'єру. Данна технологічна схема дозволяє виконувати паралельну рекультивацію поверхні внутрішнього відвалу, що

стабілізувалася, включаючи ті ділянки де розташовуються окремо закладовані вмісні піщані та глинисті породи.

Таким чином на кар'єрі перед розрізною траншеєю одночасно знімається родючий шар ґрунту, а позаду внутрішній відвал одразу заповнюється, планується і рекультивується. Таким чином значна площа внутрішнього відвалу вже через 3–5 років може бути потворо використана, замість очікування 20–30 років поки настане можливість відновити поверхні хвостосховищ.

Наступною перевагою впровадження технологій замкнутого циклу у розробку титан-цирконієвих родовищ є можливість отримувати додаткові об'єми збагачених кварцових пісків, які за існуючої технології потрапляють у хвостосховище. Технології замкнутого циклу передбачають його зневоднення, очищення від глини та утилізацію. Сухе складування та ресайклінг замість створення величезних наливних хвостосховищ, які вилучають родючі землі та несуть екологічні ризики. В подальшому він може бути використаний як сировина для будівельної галузі.

У випадку розробки Мотронівсько-Аннівської ділянки, технологія замкнутого циклу також має перевагу за рахунок скорочення використання об'ємів технічної води. Замкнутий водний цикл значно полегшує дану проблему оскільки 80 % руди відділяється на збагачувальній фабриці колективного концентрату поряд на борту кар'єру, що знімає необхідність використовувати додаткових об'ємів води для транспортування на стаціонарну збагачувальну фабрику.

Новизна дослідження. Для встановлення впливу технології замкнутого циклу на показники землезбереження в умовах розробки Мотронівсько-Аннівської ділянки Малишевського родовища титан-цирконієвих руд виконаємо математичне моделювання з для визначення площі порушених земель у кожний рік розробки протягом перших 20 років експлуатації родовища.

Під час розрахунків прийнято проєктну продуктивність кар'єру, його розміри та об'єми хвостів збагачення що утворюються на стаціонарній збагачувальній фабриці для класичної технології розробки родовища. Для технологічної схеми за принципами замкнутого циклу приймаємо аналогічні параметри продуктивності та розмірів кар'єрного поля, однак відмінність буде полягати у відсутності хвостів збагачення, та послідовній рекультивації поверхні внутрішнього відвалу після його стабілізації. Результати отриманих досліджень наведено на рис. 1.

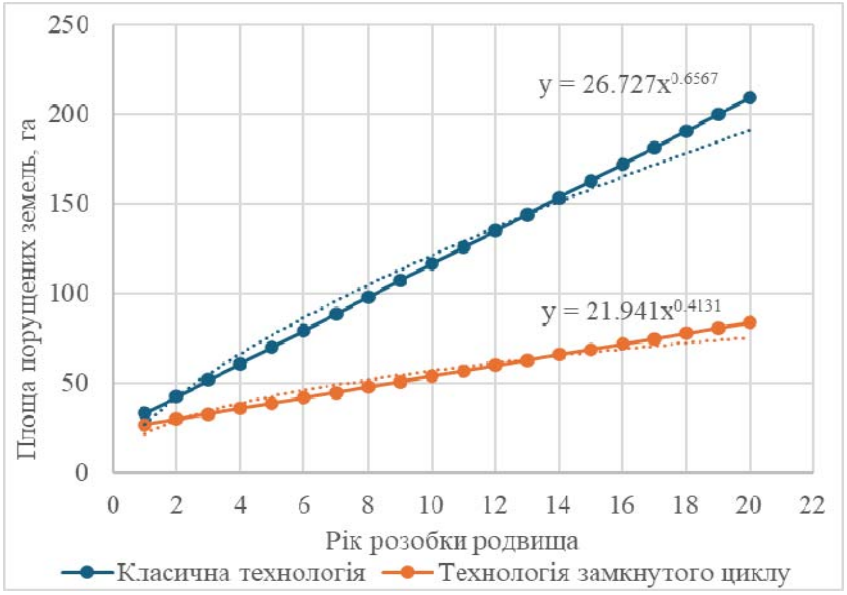


Рис. 1. Вплив технологічної схеми розробки родовища на площі порушених земель протягом 20 років розробки

Відповідно до отриманих результатів досліджень за класичної технологічної схеми площа порушених земель зросте у 6,3 рази з 33 до 209 га протягом перших 20 років розробки родовища, у той час як при запропонованій схемі розробки площа порушених земель збільшиться у 3,1 рази з 27 до 84 га. Це відбувається за рахунок відсутності земель де розташовано хвостосховище, і пов'язані з цим затримки робіт з рекультивації.

Отримані результати досліджень дозволяють встановити землезберігаючий ефект від запровадження технології замкнутого циклу, який визначається як відношення різниці між площею збережених земель і площею порушених земель при існуючій технологічній схемі. Результати розрахунків наведено на рис. 2.

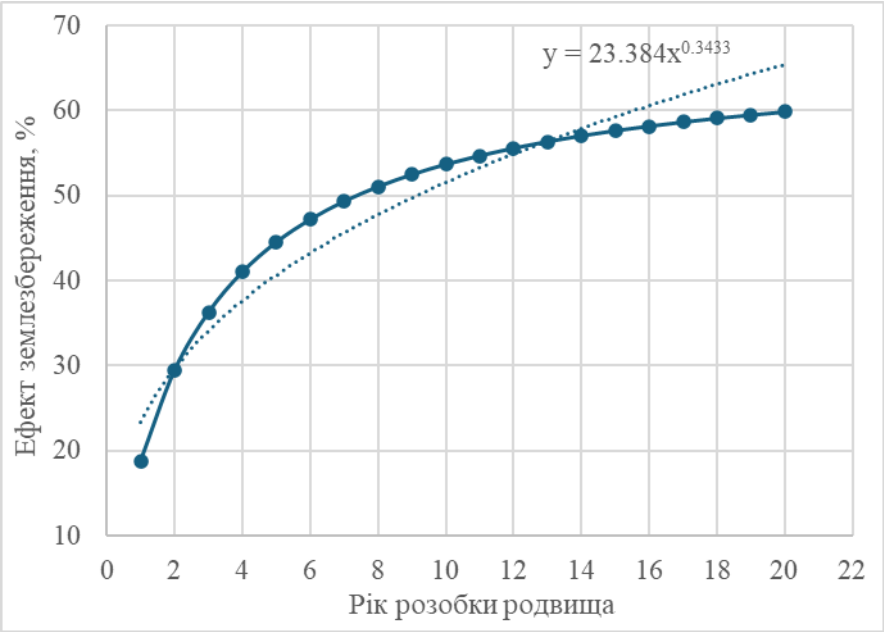


Рис. 2. Залежність ефекту землезбереження від року розробки родовища

Відповідно до отриманих даних (рис. 2) ефект землезбереження від запровадження технології закинутого циклу буде лише посилюватися з часом після початку проведення гірничих робіт. За 20 років експлуатації кар'єру він зросте з 19 до 60%, що ще раз підтверджує ефективність запровадження запропонованих технологічних рішень вже з перших років розробки.

Висновки. Встановлені результати досліджень підтверджують ефективність запропонованої технології замкнутого циклу на показники землезбереження в умовах розробки обводнених титан-цирконієвих родовищ.

Визначено, що при застосуванні класичної технологічної схеми розробки титан-цирконієвого родовища площа порушених земель за перші 20 років експлуатації кар'єру зросте у 6,3 рази з 33 до 209 га. Запропонована технологічна схема замкнутого циклу при розробці родовища дозволяє досягти цього збільшиться лише у 3,1 рази з 27 до 84 га за рахунок відсутності хвостосховища і відсутності необхідних робіт з рекультивації на ньому.

Отримані показники ефекту землезбереження від запровадження технології закинутого підтверджують, що за 20 років експлуатації кар'єру він лише зростатиме і сягне 60%, а площа збережених земель на цей момент сягатиме 125 га.

Список використаних джерел:

1 Lozhnikov, O. V., Sobko, B. Y., Pavlychenko, A. V., & Kirichek, Y. O. (2023). Utilization of the secondary resources of titanium-zirconium pits when constructing highways. Natsional'nyi Hirnychyi Universytet. Naukovyi Visnyk, (4), 124-129. https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-4/124.

References

Lozhnikov, O. V., Sobko, B. Y., Pavlychenko, A. V., & Kirichek, Y. O. (2023). Utilization of the secondary resources of titanium-zirconium pits when constructing highways. *Natsional'nyi Hirnychyi Universytet. Naukovyi Visnyk*, (4), 124-129. https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-4/124

Подяки. *Представлені результати отримано в рамках виконання Проєкту 2025.02/0048 «Обґрунтування параметрів ресурсозберігаючої технології замкнутого циклу при освоєнні критичної сировини титанових родовищ» за підтримки Національного фонду досліджень України.*

UDC 551.24:553.98

THE ROLE OF THE TECTONIC FACTOR IN THE SPATIAL DISTRIBUTION OF SUFFOSION DEPRESSIONS AND THE POSSIBILITIES OF FAULT ZONE RECONSTRUCTION AND THEIR POTENTIAL USE FOR PREDICTING DEEP-FLUID MIGRATION PATHWAYS

Makarenko O.M., *poshuk1964@gmail.com,*
State Institution Radioenvironmental Centre of National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

The spatial distribution of closed depressions (suffosion depressions) within the Dnipro–Donets Depression (DDD) in northeastern Ukraine was investigated. Approximately 400,000 depressions were identified over an area of about 126,000 km², and maps of their density were constructed. Significant spatial heterogeneity was established, with concentration maxima associated with fault zones and, in particular, with fault intersection nodes. The depressions are proposed as surface indicators of fractured and decompacted zones. The potential of this approach for predicting deep-fluid migration pathways is demonstrated. Using the Rechitsa Fault in the Pripyat Depression as an example, the spatial coincidence of local depression-density maxima with the locations of the four largest oil fields is considered. Remote mapping of depressions is proposed as a low-cost preliminary method for identifying potentially permeable zones for subsequent geophysical, gas-geochemical and drilling investigations.

Keywords: closed depressions, Dnipro–Donets Depression, faults, lineaments, permeability, degassing, hydrocarbons, oil fields, remote methods.

РОЛЬ ТЕКТОНІЧНОГО ФАКТОРА У ПРОСТОРОВОМУ РОЗПОДІЛІ СУФОЗІЙНИХ ЗАПАДИН ТА МОЖЛИВОСТІ РЕКОНСТРУКЦІЇ РОЗЛОМНИХ ЗОН І ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ШЛЯХІВ МІГРАЦІЇ ГЛИБИННИХ ФЛЮЇДІВ

Макаренко О.М., *poshuk1964@gmail.com,*
ДУ «Науково-інженерний центр радіогідрогеоекологічних полігонних досліджень НАН України», Київ, Україна

Досліджено просторовий розподіл замкнених депресій (западин) у межах Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ) на території північно-східної України. На площі близько 126 тис. км² дешифровано близько 400 тис. западин та побудовано карти їх щільності розподілу. Встановлено значну просторову неоднорідність розподілу, приуроченість максимумів концентрації до розломних зон і, особливо, до вузлів їх перетину. Запропоновано розглядати западини як поверхневі індикатори зон тріщинуватості та розущільнення. Показано перспективність використання цього підходу для прогнозування шляхів міграції глибинних флюїдів. На прикладі Річицького розлому в межах Прип'ятського прогину розглянуто просторовий збіг локальних максимумів щільності западин із положенням чотирьох найбільших нафтових родовищ. Запропоновано використовувати дистанційне картування западин як дешевий етап попереднього виділення потенційно проникних зон, перспективних для подальших геофізичних, газогеохімічних і бурових досліджень.

Ключові слова: суфозійні западини, Дніпровсько-Донецька западина, розломи, лінеаменти, проникність, дегазація, вуглеводні, родовища, дистанційні методи.

Introduction. Small closed, rounded depressions (suffosion depressions) are widespread within the Dnipro–Donets Depression (DDD), but their spatial distribution is highly heterogeneous. The aim of this study is to establish the role of the tectonic factor in the spatial structure of depression distribution and to assess the potential of their distribution for reconstructing fault zones and identifying areas of enhanced permeability of the geological environment.

Materials and methods. Spatial analysis was carried out for an area of approximately 126,000 km² within the northeastern part of the DDD. About 400,000 closed depressions were identified from satellite imagery in Google Maps. Geographic information processing and construction of density maps were used to analyze their spatial organization. The positions of depression fields and chains relative to known faults and lineament zones were analyzed separately.

Results. The density of depressions varies from their complete absence to 200–250 depressions per 1 km². The depressions form individual fields and linearly elongated clusters,

which are often oriented along extensive lineament zones. Comparison of their distribution with known faults revealed that concentration maxima are associated with active fault zones, particularly with fault intersection nodes. For individual lineament zones, the depression density directly above the central part of a fault is, on average, 1.5–2 times higher than in the peripheral areas.

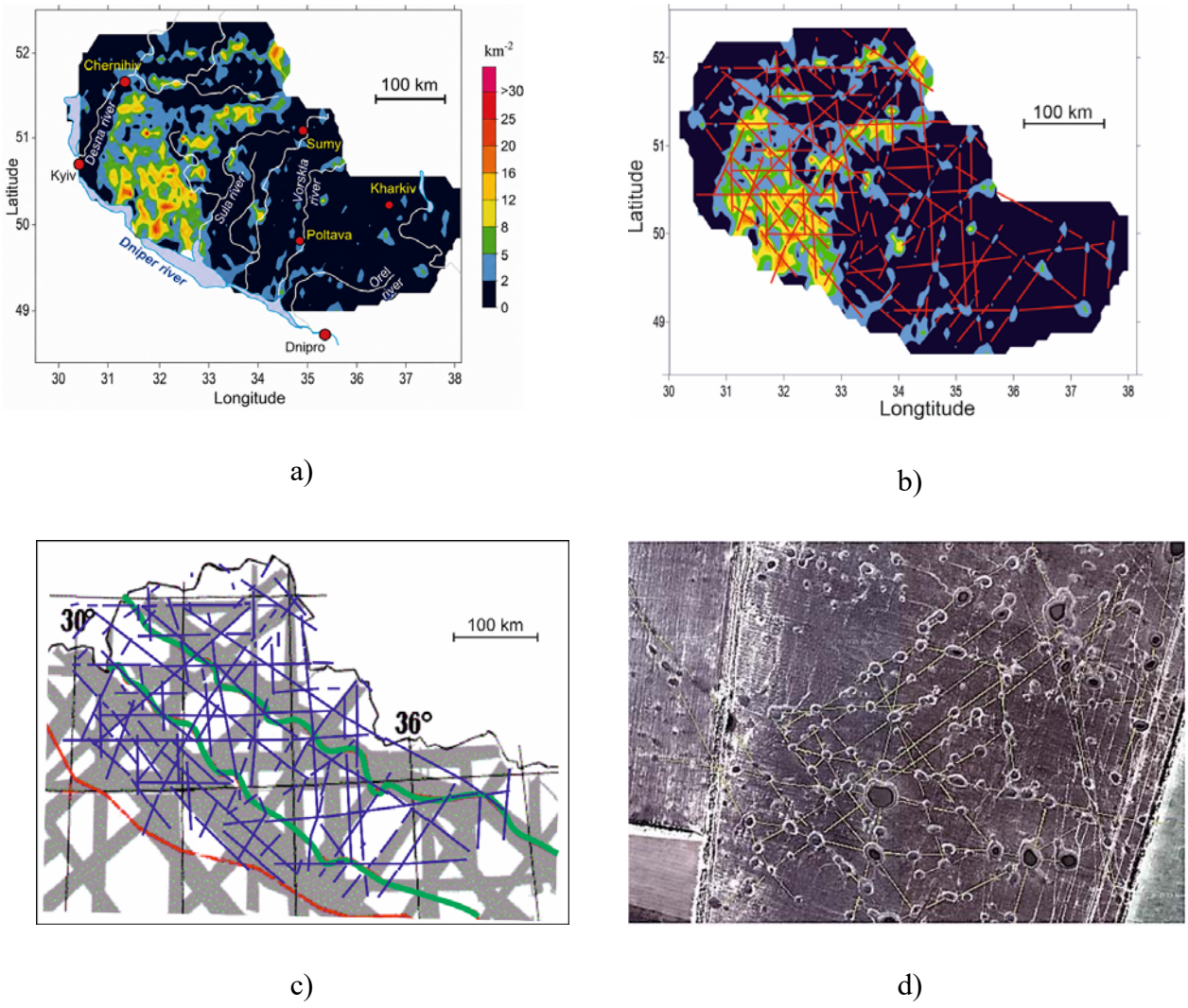


Fig. 1. Spatial distribution of depressions (a), reconstruction of fault zones from the structure of depression fields (b), comparison with independent [1] data (c), and linear organization of depressions (d)

The reconstruction of hypothetical lineaments based on depression-concentration maxima shows good agreement with known reactivated faults identified by conventional geological and geophysical methods [1]. The similarity in the orientations of depression fields, their chains, and faults indicates structural control over their formation. The results make it possible to consider the depressions not merely as individual landforms, but as a set of surface manifestations of zones of enhanced fracturing and decompaction.

Potential use for hydrocarbon exploration. Of particular interest is the possibility of using the spatial distribution of depressions to preliminarily identify zones of enhanced permeability in the geological environment and to predict hydrocarbon migration pathways. The Rechitsa Fault area within the Pripyat Depression provides an illustrative example (Fig. 2). Pronounced heterogeneity of depression density is observed along the fault, with local maxima confined to individual segments of the fault zone. The locations of the four largest oil fields in the area spatially correspond to such local maxima.

The observed spatial correspondence may have a common structural-hydrogeological explanation. Tectonic movements along the fault created conditions for the formation of structural hydrocarbon traps, while fault-related zones of fracturing and decompaction may have provided favorable pathways for their vertical migration. Individual fault segments and nodes where differently oriented faults intersect are potentially the most permeable. Under modern conditions, the same zones of enhanced permeability may facilitate meteoric-water infiltration, concentration of subsurface flow, and the development of suffosion processes manifested by the formation of groups and chains of depressions.

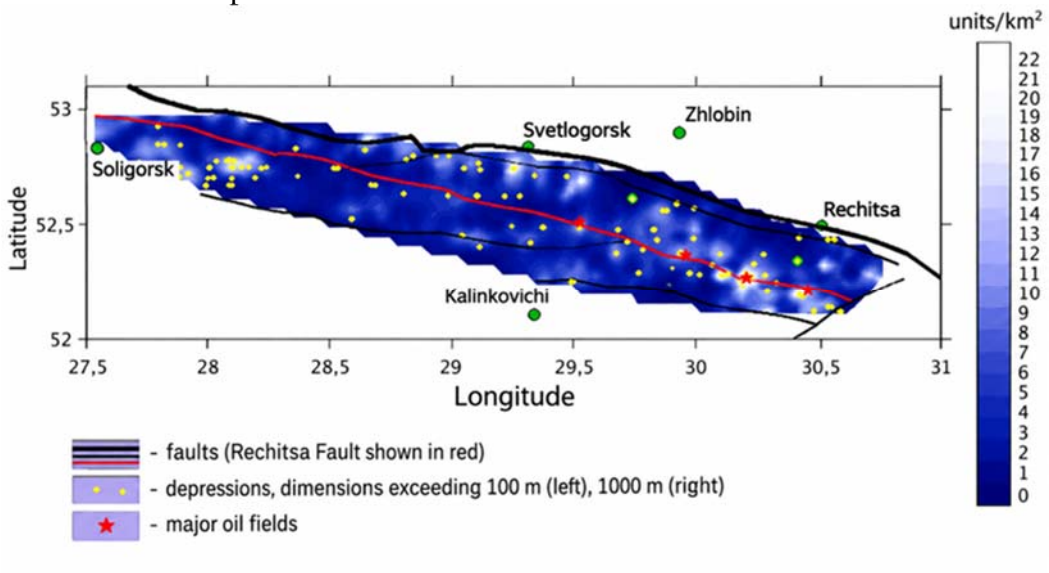


Fig. 2. Distribution of depression density along the Rechitsa Fault and locations of the four largest oil fields

Thus, spatial mapping and quantitative analysis of depression density may be regarded as a low-cost remote method for the preliminary identification of zones of enhanced permeability that are promising for further geophysical, gas-geochemical and drilling investigations. In hydrocarbon-bearing basins, such zones may be useful for predicting possible hydrocarbon migration pathways and identifying prospective exploration areas. At the same time, depressions should not be directly equated with hydrocarbon accumulations: the working hypothesis is that they may share a common relationship with zones of enhanced fracturing and permeability.

Conclusions. The tectonic factor is one of the key controls on the spatial organization of depressions in the DDD. Their fields and chains may reflect fault and fractured zones, including those that are weakly expressed by conventional geological and geophysical methods. The spatial coincidence of local depression-density maxima with the four largest oil fields in the Rechitsa Fault area indicates the potential value of further testing this relationship. The next step should be a statistical assessment of the spatial correspondence between oil fields and depression-density maxima and comparison with a random distribution.

References:

Verkhovtsev, V., 2006. Recent vertical movements of the Earth's crust in Ukraine and their relationship with linear and ring-shaped structures. In: The Earth's Energy, Its Geological and Ecological Manifestations, Theoretical and Practical Use. KNU, Kyiv, pp. 129–137. (in Ukrainian).

УДК 550.83

НОВА ПАРАДИГМА КАРТУВАННЯ КОМЕРЦІЙНИХ ПОКЛАДІВ МІНЕРАЛЬНОЇ СИРОВИНИ НА ПРИКЛАДІ ПОКЛАДІВ ХРОМІТОВИХ РУД ОЛИСЯ-МУСЮРСЬКОГО МАСИВУ ПРИПОЛЯРНОГО УРАЛУ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ СПІЛЬНОЇ ІНВЕРСІЇ ГРАВІМЕТРИЧНИХ ТА ГЕОЛОГІЧНИХ ДАНИХ БЕЗ РЕГУЛЯРИЗАЦІЇ ТА ЇХ КОМПЛЕКСУВАННЯ З ДАНИМИ МАГНІТОРОЗВІДКИ

***Петровський О.**, д. фіз.-мат. н., професор, ORCID ID 0000-0002-7068-7464, Oleksandr.Petrovskyy@deproil.com*
***Петровська Т.**, к. фіз.-мат. н., ORCID ID 0000-0002-1580-7611, Tetyana.Fedchenko@gmail.com*
Науково-технічна компанія НТК «ДЕПРОІЛ ЛТД», Івано-Франківськ, Україна

Запропоновано нову парадигму прямого кількісного картування комерційних покладів мінеральної сировини на основі спільної геологічно-змістовної інверсії гравіметричних та геологічних даних без регуляризації. На прикладі Олися-Мусюрського масиву показано застосування 3D-моделі реальної густини порід у комплексі з даними магніторозвідки для локалізації хромітового зруденіння за розущільненням вмісних порід. Наявність зруденіння на рекомендованих ділянках підтверджено гірничими виробками.

Ключові слова: комерційні поклади мінеральної сировини, нова пошукова парадигма, спільна інверсія без регуляризації, гравірозвідка, магніторозвідка, 3D-модель густини, хромітові руди.

A NEW PARADIGM FOR MAPPING COMMERCIAL MINERAL DEPOSITS: A CASE STUDY OF CHROMITE ORE DEPOSITS OF THE OLYSYA-MUSYUR MASSIF, SUBPOLAR URALS, BASED ON REGULARIZATION-FREE JOINT INVERSION OF GRAVITY AND GEOLOGICAL DATA AND INTEGRATION OF THE INVERSION RESULTS WITH MAGNETOMETRIC DATA

***Petrovsky O.**, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Professor, ORCID ID 0000-0002-7068-7464, Oleksandr.Petrovskyy@deproil.com*
***Petrovska T.**, Cand. Sci. (Phys.-Math.) ORCID ID 0000-0002-1580-7611, Tetyana.Fedchenko@gmail.com*
Scientific and Technical Company NTK "DEPROIL LTD", Ivano-Frankivsk, Ukraine

A new paradigm for direct quantitative mapping of commercial mineral deposits is proposed, based on regularization-free, geologically meaningful joint inversion of gravity and geological data. A case study of the Olysya-Musyur Massif demonstrates the use of a 3D model of actual rock density integrated with magnetic data to locate chromite mineralization through reduced host-rock density. Exploratory excavations confirmed mineralization in the recommended areas.

Keywords: commercial mineral deposits, new exploration paradigm, regularization-free joint inversion, gravity prospecting, magnetic prospecting, 3D density model, chromite ores.

Вступ. В Україні, Європі та США освоєння критичних і стратегічних корисних копалин пов'язують зі зміцненням обороноздатності та розвитком економіки, що робить актуальною проблему кількісного картування комерційних покладів мінеральної сировини.

Традиційні пошуки рудних корисних копалин ґрунтуються на геологічних і геохімічних ознаках зруденіння та геофізичних аномаліях із їх подальшою перевіркою гірничими виробками й бурінням. Виявлені аномалії не гарантують присутність реального покладу та його майбутню комерційну привабливість.

Для зменшення ризиків запропонована нова парадигма пошуку та розвідки покладів мінеральної сировини, яка передбачає перехід від пошуку геофізичних аномалій і перспективних за комплексом геологічних, геохімічних та геофізичних ознак перспективних об'єктів до прямого кількісного картування комерційних покладів

мінеральної сировини. Її методичною основою є спільна геологічно-змістовна інверсія гравіметричних та інших геолого-геофізичних даних без регуляризації (Кобрунов О.І., Петровський О.П., 1992). Отримана 3D-модель реальної густини порід у поєднанні з петрофізичними, геологічними та магнітометричними даними використовується для локалізації рудних тіл або пов'язаних із ними породних комплексів і визначення напрямків їх перевірки шурфами або бурінням.

Мета цієї роботи – продемонструвати ефективність нової парадигми на при пошуках покладів хромітового зруденіння Олися-Мусюрського масиву Приполярного Уралу.

Комерційний поклад мінеральної сировини та нова парадигма пошуку та розвідки. Комерційний поклад мінеральної сировини – це замкнене ізольоване тіло в гірській породі, яка містить мінеральну сировину, в якому щільність запасів мінеральної сировини, технологічна доступність запасів для видобутку, видобувні запаси та початковий річний видобуток одночасно будуть більшими за відомі граничні значення для того, щоби майбутній видобуток мінеральної сировини був комерційно привабливим.

Щільність запасів мінеральної сировини – це її концентрація в гірських породах, яка неоднорідно змінюється в просторі.

Густина гірської породи – найбільш чутливий фізичний параметр, який залежить від вмісту мінеральної сировини.

Різниця між густиною мінеральної сировини і густиною вмісних порід визначає густинну аномальність мінеральної сировини.

Густина комерційно продуктивної породи, що містить мінеральну сировину, буде завжди меншою або більшою за густину вмісних порід залежно від знаку густинної аномальності мінеральної сировини.

Контур комерційного покладу мінеральної сировини в густині породи картується як замкнене тіло, яке містить породи з меншою або більшою густиною залежно від знаку аномальності для мінеральної сировини.

Граничне значення густини, яке оконтурює комерційний поклад, буде відповідати породам із граничним значенням щільності запасів мінеральної сировини.

Екстремуми густини породи в межах комерційного покладу мінеральної сировини – максимуми за позитивної густинної аномальності та мінімуми за негативної – відповідатимуть найбільшій щільності запасів мінеральної сировини.

Гравірозвідка – єдиний геофізичний метод, який дає можливість дистанційно вивчати зміну густини породи, в тому числі і у комерційному покладі мінеральної сировини.

Геологічно-змістовний розв'язок оберненої задачі комплексної інтерпретації гравіметричних та інших геолого-геофізичних, петрофізичних та промислових даних є єдиним способом отримати високоточну і надійну 3D-модель реальної густини порід, в якій головним пріоритетом є отримання як розв'язку геологічно-структурно орієнтованої 3D-моделі із локалізованими тілами, які містять зменшені або збільшені значення густини порід відносно густини вмісних порід.

Нова парадигма пошуку та розвідки передбачає перехід від пошуку геофізичних аномалій і перспективних геологічних об'єктів до прямого кількісного картування комерційних покладів мінеральної сировини.

Геолого-геофізична пошукова модель хромітового зруденіння в альпінотипних комплексах. Першим етапом досліджень стала розробка геолого-геофізичної пошукової моделі для картування хромітових руд в альпінотипних комплексах Приполярного Уралу (Федченко Т. О. та ін., 2012), який базувався на аналізі:

1. Наявних геологічних гіпотез щодо природи хромітового зруденіння;
2. Фактичних даних визначення густини взірців хромітових руд та вміщуючих порід;
3. Пряме моделювання гравіметричних ефектів які виникають в результаті появи хромітового зруденіння та метраморфічних процесів, які його супроводжують.

Проведений аналіз дозволив встановити наступне:

1. В межах ділянок досліджень Олися-Мусюрський офіолітовий масив представлений дуніт-гарцбургітовою асоціацією ультрамафітів, причому хромітове зруденіння пов'язане з тілами дунітів (Душин В.А., 2006.).

2. Масив є інтенсивно серпентинізованим. Причому для дунітів властивою є більш інтенсивна серпентинізація. Це зумовлює нижчі значення густини для аподунітових серпентинітів порівняно з серпентинізованими гарцбургітами: різниця середніх значень становить 0.04 г/см^3, екстремальних значень – до 0.1 г/см^3 (рис. 1).

3. Характерним є приуроченість хромітового зруденіння до тектонічно ослаблених зон пострудної активізації, про що свідчить як тріщинуватість власне рудних тіл, так і інтенсивні вторинні зміни (зокрема метасоматоз). Як наслідок, спостерігається розущільнення як рудних тіл, так і навколорудного простору (Подгорних В.В., 2009).

4. З урахуванням вищенаведених даних було створено дві геолого-геофізичні моделі хромітового зруденіння:

– хромітове тіло високої густини у однорідному за густиною масиві гіпербазитів (рис. 2 а);

– хромітове тіло високої густини у зоні серпентинізованих та тріщинуватих дунітів пониженої густини в межах відносно однорідного за густиною масиву гіпербазитів збільшеної густини (рис. 2 б).

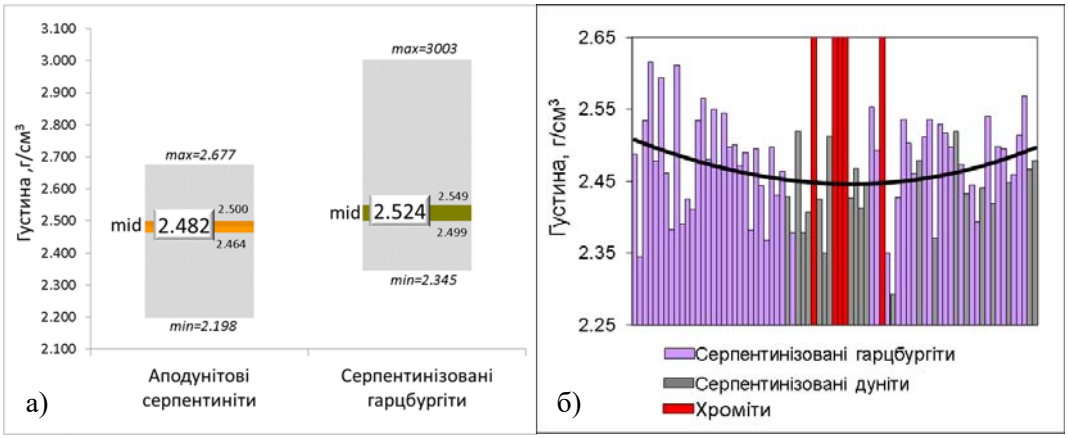


Рис. 1. Густина зразків порід рудоносного Олися-Мусюрського масиву а) та їх зміна вздовж профілю вхрест простягання хромітового тіла б)

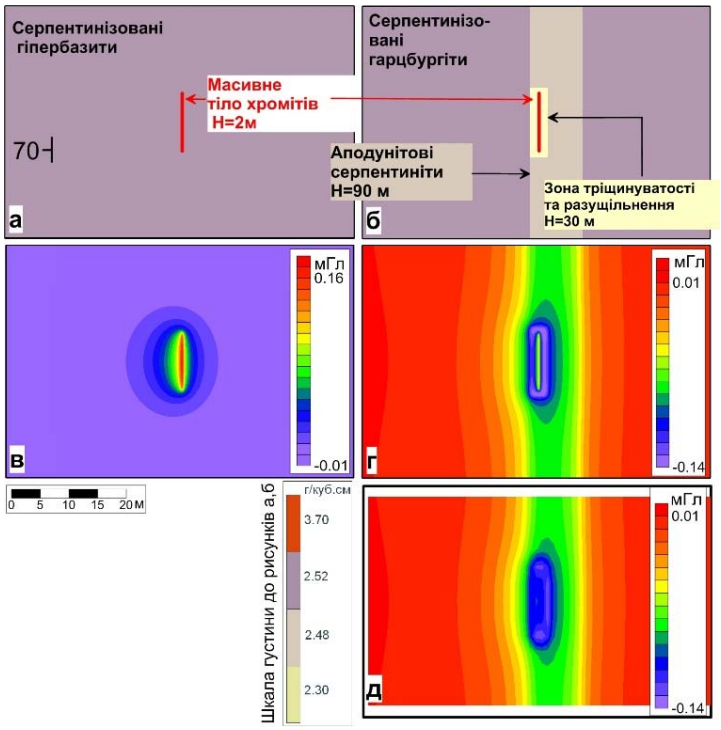


Рис. 2. Модель густини рудного тіла в однорідному масиві (а) та в зоні серпентинізації й тріщинуватості (б). Розраховані гравітаційні ефекти відповідно за кроку дискретизації гравітаційного поля 1х1 м (в, г) та 10х30 м (д).

Результати розрахунків показали:

1. Для першої моделі хромітове зруденіння створює інтенсивну позитивну гравітаційну аномалію (рис. 2, а, в). Ширина аномалії пов'язана із товщиною і глибиною залягання та повинна враховуватися при виборі горизонтального кроку 3D моделі так щоби в межах 95% енергії аномалії знаходилося як мінімум три комірки.

2. Для другої моделі на позитивну аномалію пов’язану із хромітовим зруденінням накладається негативна аномалія пов’язана із наявністю зони серпентинізованих та тріщинуватих дунітів пониженої густини. З метою вдослідження впливу кроку спостереження гравітаційного поля на характер його поведінки були розраховані два варіанти: - із оптимальним кроком спостереження гравітаційного поля, коли цей крок менший за 1/3 ширини зони хромітового зруденіння – обраний 1 х 1 м (рис. 2. б, г), та кроком, який відповідав кроку мережі гравіметричних спостережень 10 х 30 м (рис. 2. б, д). Як показали ці розрахунки у варіанті кроку, який відповідав кроку гравіметричних спостережень позитивна аномалія від хромітовим зруденіння буде проявляється частково або не проявляється взагалі (рис. 2, д). Таким чином, в якості геолого-геофізичної моделі для пошуку хромітовим зруденіння була обрана модель серпентинізованих та тріщинуватих дунітів пониженої густини в межах відносно однорідного за густиною масиву гіпербазитів збільшеної густини, які однозначно локалізуються в гравітаційному полі негативною аномалією.

Технологія інтегральної інтерпретації комплексу геолого-геофізичних даних в межах пошукових ділянок Олися-Мусюрського масиву. З метою пошуків хромітового зруденіння у межах чотирьох пошукових ділянок була застосована «Технологія інтегральної інтерпретації комплексу геолого-геофізичних даних» були використані наступні геолого-геофізичні дані: - схема геологічної будови ділянок досліджень; результати статистичного аналізу густьини порід відібраних зразків; аномальне гравітаційне поле в редукції Буге масштабів та 1:400 за результатами прямих гравіметричних спостережень в межах розташування перспективних ділянок та 1:1 000 для решта території; аномальне магнітне поле масштабу 1:1 000; бібліографічна інформація; результати геохімічних досліджень; інформація про розташування елювіально-делювіальних розвалів хромових руд, виявлених у пошукових маршрутах; результати буріння свердловин та розкриття канавами.

Створення прострової інтегральної геогустинної моделі ділянок досліджень відбувалось в програмному комплексі GCIS (Geophysical Complex Interpretation System) (Петровський О.П., 2003) і включав:

Етап 1. Створення 3D-структурної моделі території. В якості структурних границь просторової моделі були обрані межі петрографічних комплексів: дуніт – гарцбургіт – габро – піроксен (рис. 3а), для яких були використані кути та азимути падіння, визначенні під час геологічної зйомки в межах ділянок досліджень. Крім того, у модель було включено нижню межу зони розущільнення, пов’язаної з поверхневою зоною вивітрювання. Глибина границі визначалася виходячи з припущення про її максимальну товщину (50 м) на ділянках з більш пологим рельєфом (як ділянках відносного «застою» та глибшого проникнення води) та мінімальну товщину (15 м) у межах найбільш градієнтних ділянок (як зон швидкого стоку) (Добросоцький С., 2011).

Етап 2. Формування параметрів 3D густинної моделі з використанням середніх значень густини порід для кожного з виділених петрографічних комплексів. На основі свердловинних даних було оцінено величину розущільнення для приповерхневої зони гіпергенних змін -0,05 г/см³.

Етап 3. Створення апріорної 3D-моделі неперервного розподілу реальної густини порід (рис. 3б). Параметри дискретизації (розмір елементарної комірки) моделей склали 5х5х5 м, максимальна глибина досліджень – 775 м.

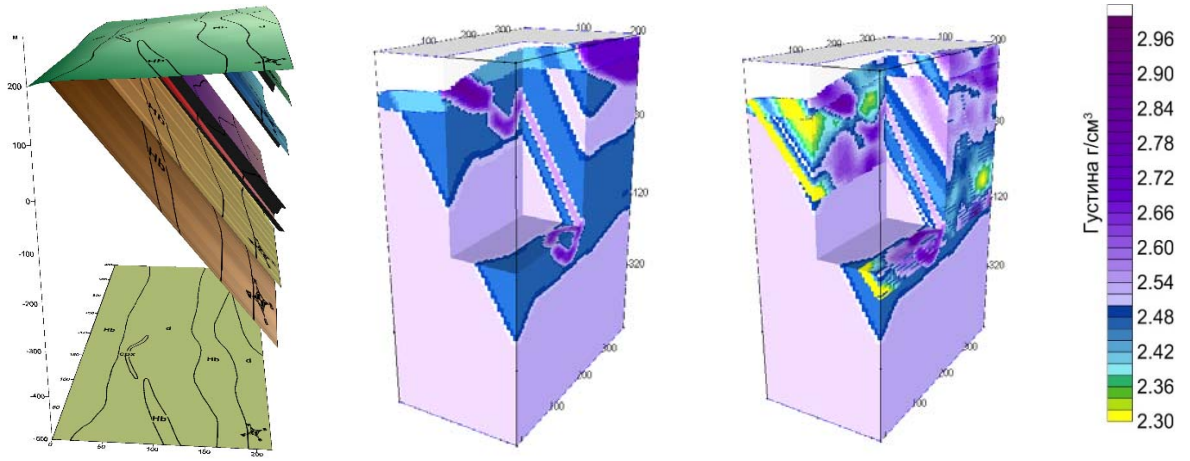
Етап 4. Гравітаційна перевірка якості апріорної просторової неоднорідної геогустинної моделі середовища шляхом зіставлення спостережуваного гравітаційного

поля з результатами розв'язку прямої просторової задачі гравірозвідки для неоднорідної 3D моделі реальної густини порід. Середньоквадратичне відхилення гравітаційних полів 0,0810 мГл.

Етап 5. Розв’язок просторової геологічно-змістовної лінійної оберненої задачі гравірозвідки без застосування регуляризації з урахуванням додаткових відомостей у вигляді початкової неоднорідної 3D моделі густини та інформації про дисперсії рівномірного розподілу густин порід за керновими і свердловинними даними та максимальною компенсацією відхилення між спостережуваним і розрахованим гравітаційними полями.

У результаті розв’язку оберненої задачі гравірозвідки були визначені значення густини порід в межах просторової 3D моделі (рис. 3в), узгоджену з усім наявним комплексом апріорної геолого-геофізичної інформації що до ділянки досліджень та гравітаційним полем. Досягнуте середньоквадратичне відхилення між спостережуваним і розрахованим гравітаційними полями склало 0,0245 мГл, З точки зору гравітаційного поля результуюча модель стала точнішою і надійнішою від початкової 3D моделі у 3.3 рази.

Етап 6. Петрографічне районування території досліджень за результатами якісного статистичного аналізу комплексу геолого-геофізичних даних, який включав отриману високоточну і високонадійну 3D модель реальної густин породи (рис. 4а), дані магніторозвідки та результатами геологічного вивчення території в пошукових маршрутах на основі використання алгоритмів методів статистичної класифікації багатоознакових даних, зокрема метод динамічних згущень, реалізований у пакеті кореляційно-статистичного аналізу COSCAD 3D (Нікітін О.О., 1979; Петров О.В., 2008). З метою виявлення зон зруденіння було виконано розпізнавання багатоознакових аномалій з використанням еталонних ділянок та із додатковим залученням даних геохімічних досліджень.



а) б) в)

Рис. 3. Апріорні 3D структурна модель (а) та 3D модель неоднорідної густини та 3D модель реальної густини порід (в) отримана в результаті розв’язку геологічно- змістовної оберненої лінійної задачі гравірозвідки без застосування регуляризації

Геологічні результати робіт. В результаті петрографічного районування території досліджень за комплексом ознак було виділено чотири типи зон (рис. 4):

1. Зона I – ділянки розвитку аподунітових серпентинітів, катаклазованих та тріщинуватих, для яких характерними є мінімальні значення густини, а також проміжні і високі значення магнітного поля.
2. Зона II – ділянки розвитку частково змінених гіпербазитів (дунітів, серпентинітів), яка характеризуються відносно підвищеними значеннями густини та низькими й проміжними значеннями магнітного поля.

3. Зона III – ділянки розвитку незмінених гарцбургітів та піроксенітів із високими значеннями густини порід та низькими значеннями магнітних властивостей.

4. Зона IV – ділянки порід із однозначно не встановленим петротипом із одночасно високими значеннями густини порід та магнітної сприйнятливості. За результатами польових спостережень до цієї області можуть належати як габброїдні утворення, так і змінені гіпербазити!

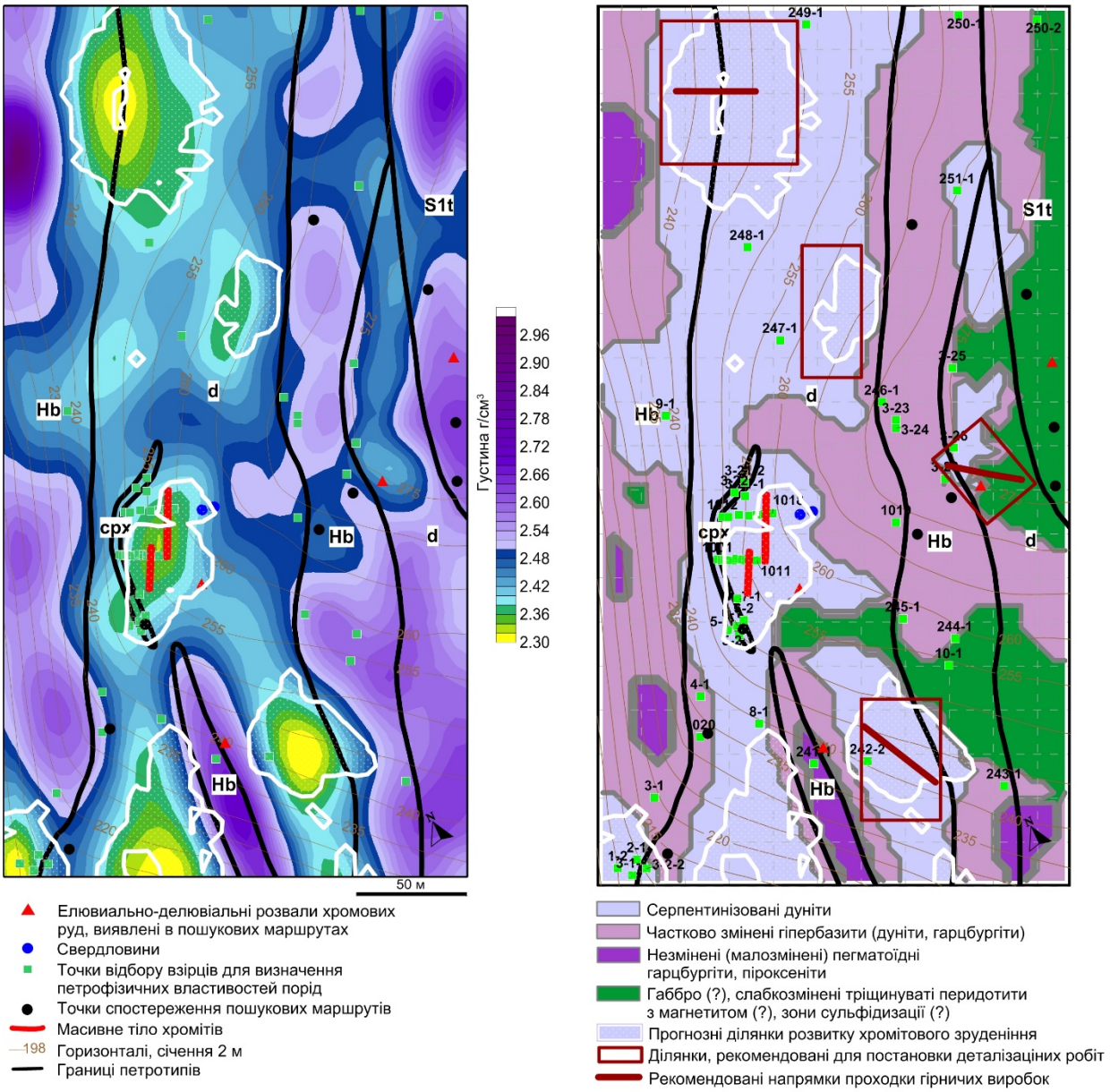


Рис. 4. Результуючі моделі густини порід (а) та виділених петротипів (б) із закартованими ділянками покладів хромітового зруденіння та напрямками їх розкриття гірничими виробками

Важливим практичним результатом петрографічного районування стало виокремлення в окремий клас найбільш перспективного комплексу аподунітових серпентинітів, поширення яких добре корелює з даними геологічної зйомки (рис. 4б). В межах зазначеного комплексу порід була виділена низка ділянок – локалізованих за густиною порід в якості потенційних комерційних скупчень хромітового зруденіння. Для найбільш перспективних із них були рекомендовані напрямки проходки гірських виробок (рис. 4б).

Результати виконаних робіт по розкриттю рекомендованих ділянок гірськими виробками підтвердили наявність у корінних породах хромітового зруденіння. Однак

концентрація хромітових руд виявилася нижче комерційного порогу прийнятого для умов Приполярного Уралу, що унеможливило подальшу розробку виявлених покладів хромітового зруденіння.

Висновки. Сумісних геологічно-змістовний розв'язок оберненої лінійної задачі гравірозвідки без застосування регуляризації в комплексі із наявними петрофізичними і петрографічними даними дозволив отримати високоточну і надійну геологічну модель реальної густини гірських порід та в комплексі із магнітометричними та геохімічними даними провести петрографічну класифікацію території Олися-Мусюрського масиву і закартувати положення покладів хромітового зруденіння та намітити напрямки для закладання шурфів.

Результати розкриття порід по всім заданим напрямкам підтвердили наявність хромітового зруденіння, хоча для умов Приполярного Уралу концентрація виявилася нижче комерційного порогу.

Застосування розробленої нової парадигми картування комерційних покладів мінеральної сировини на території України, Європи та США за рахунок надійного картування комерційних покладів критичної сировини забезпечить їх ресурсну незалежність.

Список використаних джерел:

Фізичні властивості гірських порід та корисних копалин. Дортман°Н.Б. (ред.). Довідник геофізика, 1984, 2, 455. (Російською)

Душин В.А. Виявлення та типізація геодинамічних обстановок формування продуктивних породних асоціацій Уральской частини Ханти-Мансійського автономного округу. – Єкатеринбург, 2006. (Російською)

Федченко Т. О., Кременецький О. О., Петровський О. П., Добросоцький С. В., Казюка І. М. та Суятінов В. Н.. Пошукова геолого-геофізична модель для пошуків та розвідки родовищ хромітових руд. Геоінформатика, 2012. https://doi.org/10.3997/2214-4609.201402989. (Російською)

Кобрунов О.І., Петровський О.П. Обернені задачі комплексної інтерпретації геофізичних даних. Геологічна інтерпретація гравітаційних та магнітних аномалій, 1992, Київ: Наукова думка. (Російською)

Нікітін О.О. Статистичні методи виділення геофізичних аномалій. Москва.: Надра, 1979, 280 с. (Російською)

Петров О.В., Зиновкин С.В. Розвиток статистичних методів обробки та інтерпретації геофізичних полів у комп'ютерній технології «КОСКАД 3D» // Матеріали 35-ої сесії міжнародного семінару ім. Д.Г. Успенського «Питання теорії і практики геологічної інтерпретації гравітаційних, магнітних та електричних полій». Ухта: УГТУ, 2008. С. 241-242. (Російською)

Петровський О.П., Кобрунов О.І., Ганженко Н.С., Суятінов В.М. Автоматизована система кількісної комплексної інтерпретації геофізичних даних GCIS як основа технології інтегральної інтерпретації комплексу геолого–геофізичної інформації для пошуків нафти і газу. Геоінформатика, 2003. № 2. С. 25—34.

Подгорних°В.В. [2009] Прогнозно-пошукові роботи на хромові руди в межах Олися-Мусюрського та Синотвожського масивів, Звіт, Саранпауль, 287. (Російською)

References

Dortman, N. B. (ed.). (1984). Physical properties of rocks and minerals. Geophysicist's handbook. Nadra. [In Russian]

Dushin, V.A. (2006) Identification and classification of geodynamic conditions governing the formation of productive rock associations in the Ural part of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug. [In Russian]

Fedchenko, T. O., Kremenetsky, O. O., Petrovsky, O. P., Dobrosotsky, S. V., Kazyuka, I. M., and Suatinov, V. N. (2012). A geological and geophysical exploration model for the

prospecting and exploration of chromite ore deposits. Geoinformatics, Kyiv, Ukraine. https://doi.org/10.3997/2214-4609.201402989. [In Russian]

Kobrunov, O.I., Petrovsky, O.P. (1992). Inverse problems of joint interpretation of geophysical data. Geological Interpretation of gravity and magnetic anomalies, Naukova Dumka. [In Russian]

Nikitin, O. O. (1979). Statistical methods for identifying geophysical anomalies. Nedra. [In Russian]

Petrov, O. V., and Zinovkin, S. V. (2008). Development of statistical methods for processing and interpretation of geophysical fields using the "KOSKAD 3D" technology. 35th Session of the international seminar named after D. G. Uspensky "Issues in the theory and practice of geological interpretation of gravity, magnetic, and electric fields", Uhta, Russia, 241–242. [In Russian]

Petrovsky, O. P., Kobrunov, O. I., Ganzhenko, N. S., and Suatinov, V. M. (2003). The GCIS automated system for quantitative integrated interpretation of geophysical data as the basis for the technology of integrated interpretation of geological and geophysical information for oil and gas exploration. Geoinformatics, (2), 25–34. [In Ukrainian]

Podgornykh, V. V. (2009). Exploration and prospecting for chromite ore within the Olesya-Mysurskyy and Synotvozhsky massifs. (Report). [In Russian]

УДК 553.04(477)

ІГМР НАН УКРАЇНИ У ЄВРОПЕЙСЬКОМУ ДОСЛІДНИЦЬКОМУ ПРОСТОРІ: ГЕОЛОГІЧНЕ ВИВЧЕННЯ КРИТИЧНОЇ МІНЕРАЛЬНОЇ СИРОВИНИ УКРАЇНИ У ПРОЄКТАХ ПРОГРАМИ ГОРИЗОНТ ЄВРОПА GSEU ТА BLOOM

***Сукач В.В.**, д. геол. н., ст. дослідник, ORCID ID 0000-0002-4710-7230, svital@ukr.net;*
***Вовк К.В.**, к. геол. н., ORCID ID 0000-0001-5076-260X, vovkkaterina90@gmail.com;*
***Бондаренко С.М.**, к. геол. н., ORCID ID 0000-0001-7948-3583, sbond.igmr@gmail.com;*
***Сьомка В.О.**, д. геол. н., ORCID ID 0000-0001-5202-4045, e-mail: syomka1949@gmail.com,*
***Бородиня Б.В.**, ORCID ID 0009-0008-3934-2581, boris.priazov@gmail.com;*
***Донський М.О.**, к. геол. н., ORCID ID 000-0002-3037-6346, nikkolai.donskoy@gmail.com,*
Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України, Київ, Україна

Узагальнено основні результати, отримані Інститутом геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України (ІГМР НАН України) в ході виконання проєктів GSEU і BLOOM Рамкової програми Європейського Союзу з досліджень та інновацій «Горизонт Європа» (2021–2027). У GSEU Інститут бере участь у двох робочих пакетах: WP2 – переоцінка ресурсного потенціалу відомих родовищ і рудопроявів критичної мінеральної сировини, визначення нових перспективних площ та побудова загальноєвропейських карт мінерального потенціалу і перспективності; та WP4 – оцінка, охорона й стале використання підземних вод. За WP2 систематизовано геолого-металогенічні матеріали щодо Cu і Ni, виділено й ранжовано дев'ять мідних і вісім нікелевих металогенічних полігонів. За WP4 зібрано, верифіковано та узагальнено дані щодо бюветів Києва, макрокомпонентного складу та основних хімічних показників підземних вод. У BLOOM виконано комплекс камеральних, польових і лабораторних досліджень Ta-Nb родовища Мостове та його північного флангу. У пробі М-2-25 з апліт-пегматоїдних гранітів урочища Лев Балка виявлено зерна тантало-ніобатів, визначено їхній склад, морфологію та внутрішню будову, а також охарактеризовано супутню мінералізацію. Ці результати підтверджують потенційну Ta-Nb-металоносність північного флангу родовища Мостове в межах субмеридіональної Звенигородсько-Аннівської тектонічної зони.

Ключові слова: GSEU, BLOOM, критичні сировинні матеріали, мідь, нікель, тантал.

IGMOF NAS OF UKRAINE IN THE EUROPEAN RESEARCH AREA: CONTRIBUTION TO THE GEOLOGICAL STUDY OF UKRAINE'S CRITICAL MINERAL RAW MATERIALS WITHIN THE GSEU AND BLOOM PROJECTS OF THE HORIZON EUROPE PROGRAMME

***Sukach V.**, Dr. Sci. (Geol.), Senior Researcher, ORCID ID 0000-0002-4710-7230, svital@ukr.net;*
***Vovk K.**, Cand. Sci. (Geol.), ORCID ID 0000-0001-5076-260X, vovkkaterina90@gmail.com;*
***Bondarenko S.**, Cand. Sci. (Geol.), Senior Researcher, ORCID ID 0000-0001-7948-3583, sbond.igmr@gmail.com;*
***Somka V.**, Dr. Sci. (Geol.), Senior Researcher, ORCID ID 0000-0001-5202-4045, syomka1949@gmail.com;*
***Borodynia B.**, ORCID ID 0009-0008-3934-2581, boris.priazov@gmail.com;*
***Donskyi M.**, Cand. Sci. (Geol.), ORCID ID 0000-0002-3037-6346, nikkolai.donskoy@gmail.com,*
M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

The main results obtained by the M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation, NAS of Ukraine (IGMOF), within the GSEU and BLOOM projects of Horizon Europe Programme (2021–2027) are summarised. In GSEU, IGMOF contributes to WP2 – reassessment of known Critical Raw Material deposits and occurrences, identification of new prospective areas, and preparation of pan-European potential and prospectivity mineral maps, and WP4 – groundwater assessment, protection and sustainable use. Under WP2, geological and metallogenic data on Cu and Ni were systematised, nine copper and eight nickel metallogenic polygons were outlined and ranked. Under WP4, data on Kyiv's public artesian wells, groundwater macro-component composition and chemical parameters were collected, verified and synthesised. Within BLOOM, geological data compilation and interpretation, field and laboratory studies were carried out at the Mostove Ta-Nb deposit and its northern flank. Tantalo-niobate grains were identified in sample M-2-25 from aplite-pegmatoid granite in the Lev Balka site. Their composition, morphology and internal structure were determined, and associated mineralisation was characterised.

These results confirm the Ta-Nb-bearing of the northern flank of the Mostove deposit within the submeridional Zvenyhorod-Annivka tectonic zone.
Keywords: Horizon Europe; GSEU; BLOOM; critical raw materials; groundwater; Mostove deposit.

Вступ. Забезпечення критичною мінеральною сировиною та достовірною інформацією про надра належить до ключових передумов ресурсної безпеки і сталого використання геологічного середовища. Участь українських наукових установ у програмі «Горизонт Європа» сприяє інтеграції національних геологічних даних до єдиних узгоджених європейських інформаційних сервісів і дає змогу досліджувати конкретні рудні об'єкти із застосуванням сучасних аналітичних підходів.

Мета роботи – узагальнити результати, отримані ІГМР НАН України у проєктах A Geological Service for Europe – GSEU (Геологічна служба для Європи, грантова угода № 101075609) та Liberation Analysis for Optimizing Extraction and Processing of CRMs – BLOOM (Аналіз розкриття мінералів для оптимізації вилучення та переробки критичних сировинних мітеріалів, грантова угода № 101177962).

Загальна характеристика проєктів. Проєкт GSEU розпочався у 2022 і буде завершений у 2027 рр. Він спрямований на створення сталої Європейської геологічної служби як постійної мережі геологічних служб та розвиток загальноєвропейських гармонізованих даних і інформаційних сервісів із постійним доступом через European Geological Data Infrastructure (EGDI) (European Commission, 2026a). Наукові напрями реалізуються у робочих пакетах WP2–WP7: критична сировина, International Centre of Excellence та UNFC/UNRMS (WP2); геотермальна енергія і підземне зберігання енергоносіїв та CO_2 (WP3); підземні води – їх оцінювання, охорона і стале використання (WP4); вразливість морських берегів та оптимізація розміщення офшорних вітрових установок (WP5); геологічна основа європейської системи геологічних даних та інформації (WP6); розвиток EGDI (WP7). ІГМР НАН України бере участь у WP2 та WP4.

Проєкт BLOOM стартував у 2024 р. і розрахований на 4 роки. Під координацією Політехнічного університету Каталонії (м. Барселона) він спрямований на підвищення ефективності видобування та переробки первинної критичної сировини шляхом інтеграції аналізу вивільнення мінералів, LIBS, цифрового моніторингу, машинного навчання та штучного інтелекту (European Commission, 2026b). Українським пілотним об'єктом проєкту є Ta–Nb родовище Мостове. ІГМР НАН України забезпечує геологічний супровід робіт на цьому об'єкті, зокрема геологічне, мінералогічне, геохімічне та геохронологічне вивчення руд, вмісних порід і метасоматитів.

Склад робіт та результати за проєктом GSEU. У межах WP2 виконується узагальнення та гармонізацію національних геологічних і металогенічних даних, необхідних для оцінювання ресурсного потенціалу критичної сировини на загальноєвропейському рівні. Основна увага, відповідно до визначених проєктом завдань, зосереджена на оцінюванні ресурсного та металогенічного потенціалу міді і нікелю як пріоритетних видів критичної мінеральної сировини, тоді як дослідження Li, Co, REE, Nb, Ta, природного графіту, Mn і W, передбачені на початковому етапі, наразі призупинено через часові обмеження.

Для проведення робіт використано опубліковані й фондові матеріали, металогенічні карти масштабів 1:500 000 і 1:1 000 000, дані щодо запасів і ресурсів, речовинного складу руд, вмісту корисних і супутніх компонентів тощо. Просторовою одиницею оцінювання прийнято металогенічний полігон – територію, в межах якої родовища, рудопрояви і перспективні площі об'єднані спільністю структурного контролю, рудовмісних формацій та генетичного або геолого-промислового типу зруденіння (Vasylenko, Sukach, & Siumar, 2026).

Для міді опрацьовано та систематизовано дані щодо понад 150 рудопроявів і перспективних площ. Виділено дев'ять металогенічних полігонів: Красногірськ-Житомир, Баранівка-Новоград-Волинський, Хмільник, Верхівцеве-Сура, Салтичія-Сороки, Луків-Ратне, Поділля, Бахмут і Мармарош. Вони охоплюють основні геолого-генетичні типи

мідної мінералізації – магматичну Cu-Ni сульфідну, гідротермально-метасоматичну, стратиформну вулканогенно-осадову та мінералізацію мідистих пісковиків. Порівняльне ранжування з урахуванням геологічної вивченості, ресурсної бази, параметрів рудних тіл, мінерального складу, технологічних та інвестиційних чинників дало підстави віднести полігон Луків-Ратне до групи із середнім металогенічним потенціалом. Решта полігонів за сучасним ступенем вивченості характеризуються низьким потенціалом. Водночас, значення недостатньо вивчених, проте перспективних полігонів Бахмут, Красногірськ-Житомир і Верхівцеве-Сура може суттєво зрости в середньостроковій перспективі.

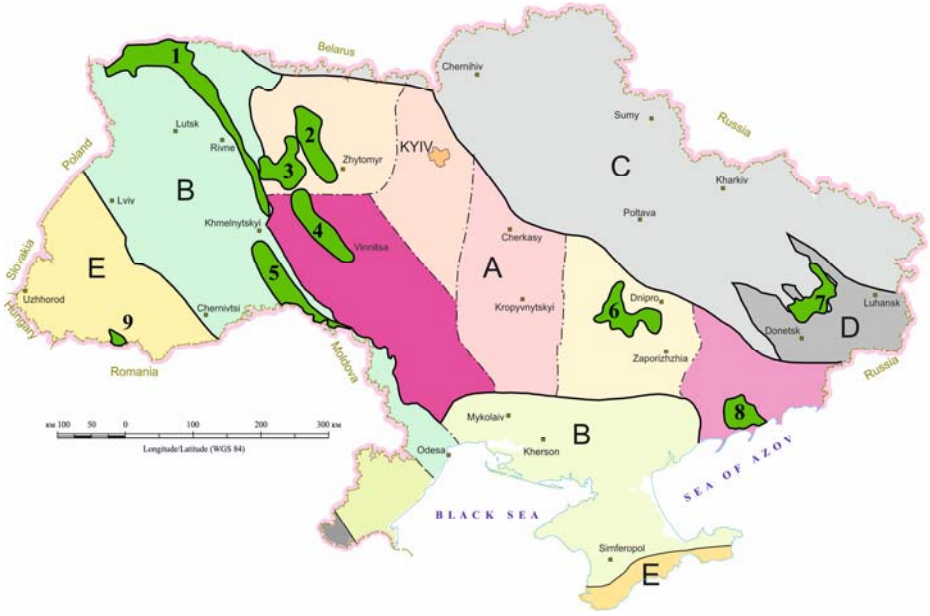


Рис. 1. Схема розташування металогенічних полігонів міді.
Металогенічні провінції: A – Український щит, B – Волино-Поділля і Причорномор'я, C – Дніпровсько-Донецька; D – Донецька; 5 – Карпатська і Крим. Полігони міді залиті зеленим кольором: 1 – Луків-Ратне, 2 – Красногірськ-Житомир, 3 – Баранівка-Новоград-Волинський, 4 – Хмільник, 5 – Поділля, 6 – Верхівцеве-Сура, 7 – Бахмут, 8 – Салтичія-Сороки, 9 – Мармарош. Використано матеріали (Kolosovska et al., 2003).

Для нікелю, з яким кобальт у багатьох рудних об'єктах асоціює як супутній компонент виділено вісім металогенічних полігонів, всі які розміщені в межах Українського щита: Кам'яне, Житомир, Буг, Верхівцеве, Сура, Девладове, Явдотівка-Олександрівка і Чортомлик. Вони охоплюють два головні геолого-промислові типи нікелевого зруденіння: магматична сульфідна Cu–Ni–Co мінералізація в базит-ультрабазитових комплексах та гіпергенні силікатні Ni–Co руди в кові вивітрювання ультраосновних порід. Найбільш підготовленими для подальшого вивчення та оцінювання є полігони Житомир і Буг. У межах полігону Житомир зосереджені Прутівське родовище та інші прояви корінного магматичного Cu–Ni–Co зруденіння, тоді як полігон Буг об'єднує найбільшу в Україні групу розвіданих родовищ силікатного нікелю. Перспективи подальшого освоєння останніх пов'язані з їх геолого-економічною переоцінкою, технологічним випробуванням комплексних руд і можливістю супутнього вилучення Fe, Mg, Cr та інших компонентів. Решта полігонів потребують подальшого геологічного вивчення, ревізії наявних ресурсних даних та їх оцінювання з урахуванням сучасних технологічних і геолого-економічних критеріїв.

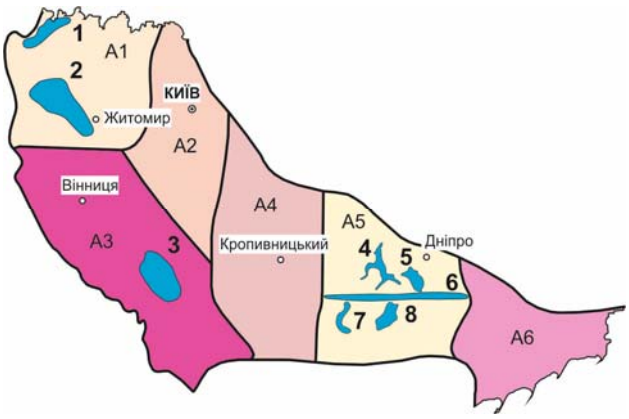


Рис. 2. Схема розташування металогенічних полігонів нікелю (з кобальтом). Полігони кобальту залиті синім кольором: 1 – Кам'яне, 2 – Житомир, 3 – Буг, 4 – Верхівцеве, 5 – Сура, 6 – Девладове, 7 – Явдотівка-Олександрівка, 8 – Чортомлик. Використано матеріали (Kolosovska et al., 2003)

Склад робіт та результати за проєктом BLOOM. В складі робіт даного проєкту ІГМР НАН України виконує геологічне, мінералогічне, геохімічне і геохронологічне забезпечення досліджень родовища Мостове та підготовку представницького матеріалу для подальших технологічних випробувань. Родовище розташоване в центральній частині Українського щита, у західному обрамленні Корсунь-Новомиргородського плутону, в межах Полохівського рудного поля Шполяно-Ташлицького рудного району Звенигородсько-Аннівської структурно-металогенічної зони. Ta-Nb мінералізація пов'язана переважно з апліт-пегматитовими жилами і альбіт-мікрокліновими метасоматитами.

На підготовчому етапі досліджено колекційні зразки пегматитів і метасоматитів, в яких рудоносні, які ймовірно сформувалися як в розпаду твердого розчину, так і пізнішого заміщення. мінерали представлені групами ільменорутил-стрюверит та колумбіт-танталіт. Зазвичай мінеральні індивіди мають гетерогенну, зернисту, гранульовану будову, утворену ділянками розвитку рутилу, Nb-Ta-рутилу і колумбіту

Через перекриття основної частини родовища осадовим чохлом і корою вивітрювання головні польові дослідження було зосереджено на відслоненнях його північного флангу за ~ 3 км від ліцензійного контуру, у правому борту балки в покинутому селі Лев Балка. На цій локації нами було відібрано три мінералого-технологічні проби М1-25, М2-25 і М3-25 масою близько 50 кг кожна. Лабораторна схема їхнього дослідження включала багатостадійне дроблення, ситовий контроль, гравітаційне концентрування, магнітну та електромагнітну сепарацію, рентгенофлуоресцентний скринінг на приладі ElvaX, відбір монофракцій і подальші електронно-мікроскопічні та мікрозондові дослідження. Петрографічне вивчення 12 полірованих шліфів вмісних апліт-пегматитоїдних гранітів виконано на оптичному мікроскопі Carl Zeiss у прохідному та поляризованому світлі.

Найбільш результативною виявилася проба М-2-25. Під час первинної перевірки концентрату, отриманого з 10 кг проби, на електронному мікроскопі-мікроаналізаторі JEOL JCXA-733 у режимі EDS було виявлено два зерна тантало-ніобатів розміром 40-50 мкм. Після продовження сепарації всього матеріалу проби виділено ще близько 10 зерен і уламків кристалів. Для кожного зерна отримано електронно-мікроскопічні зображення на REMMA-102-02, а орієнтовний склад визначено на JEOL JCXA-733 у режимі EDS безпосередньо на графітовій стрічці. Зерна переважно ізометричні або субідіоморфні, інколи трапляються кристали з добре вираженими обрисами. На відміну від тантало-ніобатів з центральної частини родовища, зерна з північного флангу є загалом більш однорідними за складом і внутрішньою будовою. Водночас, внаслідок гіпергенних змін вони інтенсивно тріщинуваті, з вторинною блоково-мозаїчною структурою та локально кородованими краями.

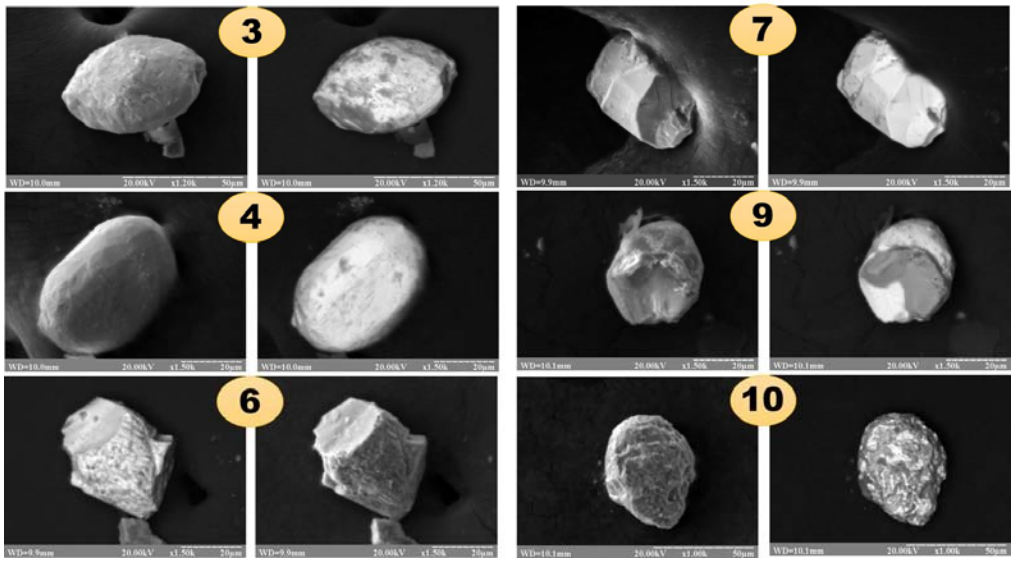


Рис. 3. Представницькі зерна тантало-ніобатів із концентрату проби М-2-25. Зерна 3, 4, 6, 7, 9 і 10 показані у вторинних електронах (SEM-SE, ліворуч) та зворотно-розсіяних електронах (SEM-BSE, праворуч); зображення отримані на електронному мікроскопі REMMA-102-02

Унаслідок гіпергенних змін і підвищеної крихкості частина зерен була пошкоджена під час їхньої обробки. Чотири зерна (3, 6, 7 і 10) вдалося підготувати у вигляді спеціальних полірованих шліфів і дослідити методом WDS на JEOL JXA-8200. За хімічним складом зерна 3 і 10 відповідають тантало-ніобатам колумбіт-танталітової групи; зерна 6 і 7 представлені Ti-збагаченою фазою, попередньо ідентифікованою як титанистий іксіоліт. Достовірна діагностика останнього потребує додаткового уточнення.

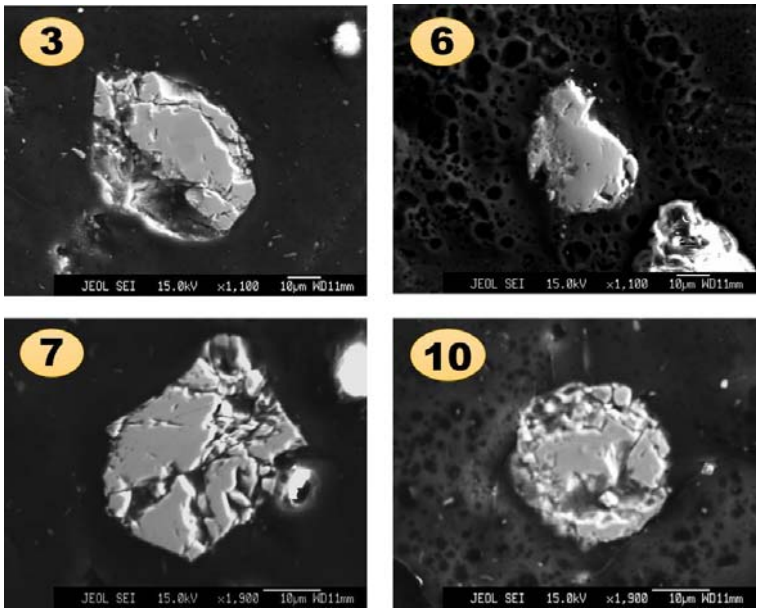


Рис. 4. Електронно-мікроскопічні зображення тантало-ніобатів (зерна 3, 6, 7 і 10, підготовлені для WDS-аналізу на JEOL JXA-8200)

Супутня рудна й акцесорна мінералізація представлена ільменітом, оксидами і гідроксидами заліза, піритом, арсенопіритом, халькопіритом, апатитом, цирконом і монацитом. Ільменіт досліджено на JEOL JXA-8200 методом WDS; у ньому встановлено V_2O_3 до 0,31 мас. %, Nb_2O_5 до 0,29 мас. % і Ta_2O_5 до 0,48 мас. %. За результатами датування апатиту U-Pb методом отримано вік 1912 ± 30 млн років (робочі матеріали Л. Шумлянського, 2026 р.), який може відповідати палеопротерозойському етапу

кристалізації апатиту, пов’язане з постмагматичними метасоматичними процесами в апліт-пегматоїдній гранітній системі.

Після лабораторного підтвердження Ta-Nb мінералізації в точці М-2-25 відібрано технологічну пробу М2-25-2 загальною масою 212 кг: 75 кг у північній частині жильно-прожилкової зони (М2-25-2N) і 137 кг у південній (М2-25-2S). Пробу передано до Політехнічного університету Каталонії (м. Барселона) для технологічних випробувань.

Висновки. ІГМР НАН України активно залучений до європейського наукового співробітництва, яке в межах програми «Горизонт Європа» наразі реалізується у проєктах GSEU та BLOOM.

1. У проєкті GSEU Інститут виконує дослідження за напрямами критичної мінеральної сировини (WP2) та підземних вод (WP4), спрямовані на гармонізацію геологічних даних і формування пан’європейських інформаційних ресурсів, зокрема через EGDI. За WP2 систематизовано й проаналізовано геолого-металогенічні дані щодо Cu і Ni з супутнім Co. Виділено дев’ять мідних і вісім нікелевих металогенічних полігонів, визначено їхні особливості та напрями подальшого геологічного, геолого-економічного і мінералого-технологічного вивчення.

3. У проєкті BLOOM виконано комплекс польових і лабораторних досліджень Ta-Nb родовища Мостове та його північного флангу в урочищі Лев Балка. Виявлено танталоніобати колумбіт-танталітової групи та титанистий іксіоліт, який потребує додаткової ідентифікації. Отримані результати підтверджують потенційну Ta-Nb-металоносність Звенигородсько-Аннівської тектонічної зони.

4. Виявлено відмінності у хімічному складі та, відповідно, внутрішній структурі Ta–Nb мінералів: на північному фланзі вони загалом більш однорідні, ніж у центральній частині родовища, де поширені складні зростання рутилу, Nb–Ta-рутилу та колумбіту. Ці особливості будуть враховані під час оцінювання ступеня розкриття мінералів і вилучення Ta та Nb.

Участь у європейських дослідницьких проєктах є вельми важливою для вітчизняних наукових інституцій, оскільки забезпечує доступ до сучасних методів і технологій, сприяє гармонізації національних геологічних даних із європейськими стандартами та інтеграції результатів українських досліджень у у спільний європейський геологічний і дослідницький простір.

Список використаних джерел:

1. Василенко, А. П., Сукач, В. В., Сюмар, Н. П. (2026). Сучасний стан мінерально-сировинної бази мідних покладів в Україні та перспективи їх освоєння як об’єктів критичної сировини. Геологічний журнал, 2(395), 40–54. https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2026.2.361078

2. Колосовська, В. А., Веліканов, В. Я., Возгрін, В. Д., Педанюк, В. Г., Калінін, В. І., Гейченко, М. В., Войновський, А. С., Соловицький, В. М., Цьоха, В. В. (2003). Металогенічна карта України. Масштаб 1:1 000 000. Пояснювальна записка. Частина ІІІ. УкрДГРІ. 368 с.

3. European Commission. (2026a). *A Geological Service for Europe (GSEU).* Grant Agreement 101075609: Periodic reporting. CORDIS. https://cordis.europa.eu/project/id/101075609/reporting

4. European Commission. (2026b). *Liberation Analysis for Optimizing Extraction and Processing of CRMs (BLOOM).* Grant Agreement 101177962: Periodic reporting. CORDIS. https://cordis.europa.eu/project/id/101177962/reporting

References:

Vasylenko, A. P., Sukach, V. V., & Siumar, N. P. (2026). *Current state of the mineral and raw material base of copper deposits in Ukraine and prospects for their development as critical raw material objects.* Geological Journal, 2(395), 40–54. https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2026.2.361078 [in Ukrainian].

Kolosovska, V. A., Velikanov, V. Ya., Vozgrin, V. D., Pedanyuk, V. G., Kalinin, V. I., Heichenko, M. V., Voinovskyi, A. S., Solovytskyi, V. M., & Tsiokha, V. V. (2003). *Metallogenic map of Ukraine, scale 1:1,000,000: Explanatory note, Part III.* UkrDGRI. 368 p. [in Ukrainian].

European Commission. (2026a). *A Geological Service for Europe (GSEU).* Grant Agreement 101075609: Periodic reporting. CORDIS. https://cordis.europa.eu/project/id/101075609/reporting

European Commission. (2026b). *Liberation Analysis for Optimizing Extraction and Processing of CRMs (BLOOM).* Grant Agreement 101177962: Periodic reporting. CORDIS. https://cordis.europa.eu/project/id/101177962/reporting

УДК 549.75:553.08 (477.42)

КІТЯНЛІНГІТ ПЕРЖАНСЬКОГО РОДОВИЩА

Хоменко В.М., *к. геол.-мін. н., с. н. с., 0000-0003-0106-3954, vladimir.khom@yahoo.com;*
Черниш Д.С., *к. геол. н., ст. дослідник, 0000-0001-5390-2591, dariia.chernysh@gmail.com;*
Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України, Київ, Україна

У метасоматитах Пержанського родовища методами електронного мікроаналізу *in situ*, мікро-РФА та оптичної мікроскопії виявлено рідкісний оксид групи колумбіту — кітянлінгіт. Мінерал характеризується високою залізистістю, низьким умістом мангану, переважанням ніобію над танталом, варіаціями вольфраму в широких межах. Утворює облямівки та епітаксичні наростання на зернах колумбіту-(Fe). Склад кітянлінгіту з метасоматитів Пержанського родовища, пегматитів Володарсько-Волинського родовища та еталонного зразка з пегматиту провінції Хунань (Китай) подібний. Знахідка кітянлінгіту в метасоматитах Пержанського родовища є другою знахідкою цього мінералу в геологічних утвореннях України і першою — в її апогранітних метасоматитах.

Ключові слова: кітянлінгіт, група колумбіту, метасоматити, Пержанське родовище.

QITIANLINGITE OF THE PERHA DEPOSIT

Khomenko V., *Cand. Sci. (Geol.-Mineral.), Senior Research Fellow, 0000-0003-0106-3954, vladimir.khom@yahoo.com*;
Chernysh D., *Cand. Sci. (Geol.), Senior Researcher, 0000-0001-5390-2591, dariia.chernysh@gmail.com;*
M.P. Semenenko Institute of geochemistry, mineralogy and ore formation of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

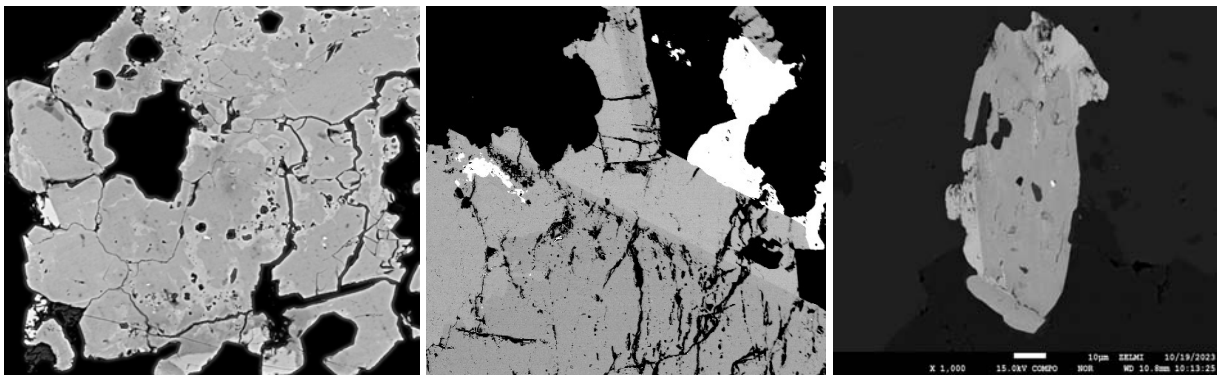
Qitianlingite, a rare oxide of the columbite group, has been identified in the metasomatites of the Perha deposit using electron microprobe analysis *in situ*, micro-XRF, and optical microscopy. The mineral is characterized by high iron content, low manganese content, the predominance of niobium over tantalum, and wide variations in tungsten content. It forms rims and epitaxy overgrowth around larger columbite-(Fe) grains. The composition of qitianlingite from the metasomatites of the Perha deposit, pegmatites of the Volodarsk-Volyn deposit, and the reference sample from the Hunan Province pegmatite (China) is similar. The finding of qitianlingite in the metasomatites of the Perha deposit is the second record of this mineral in the geological formations of Ukraine and the first in its apogranitic metasomatites.

Keywords: qitianlingite, columbite group, metasomatites, Perha ore zone.

Вступ. Кітянлінгіт, $(Fe,Mn)_2(Nb,Ta)_2WO_{10}$ — рідкісний оксид групи колумбіту, вперше виявлений у пегматитовій дайці гранітного масиву *Qitianling* у провінції Хунань (Китай) в асоціації з кварцом, калієвим польовим шпатом, альбітом, мусковітом, цинвальдитом, каситеритом, вольфрамітом, вольфрамоіксіолітом (Yang et. al., 1985). Відомі знахідки цього мінералу в Чехії (Dolníˇcek et. al., 2024), Бразилії (Tallarico et. al., 2004), Канаді (Breasley et. al., 2024), Франції (Marcoux et. al., 2021). В Україні вперше кітянлінгіт описано в периферійній зоні кристала колумбіту з гранітних пегматитів Володарсько-Волинського родовища (Naumenko et. al., 2019).

Матеріали та методи. Під час дослідження серії непокритих шліфів рудних метасоматитів з відвалів шахти Пержанського родовища методами електронного мікроаналізу *in situ*, мікро-РФА та оптичної мікроскопії кітянлінгіт був виявлений у чотирьох зразках в асоціації з альбітом, калієвим польовим шпатом, гентгельвіном, колумбітом, ферберитом, кварцом, сульфідами, флюоритом, цирконом.

Результати. Кітянлінгіт у досліджених зразках метасоматитів тісно пов’язаний із колумбітом-(Fe), навколо зерен якого утворює переривчасті облямівки або епітаксичне наростання дрібних кристалів, та/або з сильно кородованими зернами фербериту, в яких утворює численні мікровростки, та у складі поліфазних мікрокристалічних псевдоморфоз за ферберитом (рис. 1).



а *б* *в*

Рис. 1. Кітянлінгіт у метасоматитах Пержанського родовища (зображення у відбитих електронах): *а* — світла переривчаста облямівка кітянлінгіту навколо сірого кородованого кристала колумбіту; *б* — кородований кристал ферберити (білий) і псевдоморфоза по його залишках, складена кітянлінгітом (світло-сіра ліворуч), які обростають зональним кристалом гентгельвіну; *с* — епітаксичне наростання кітянлінгіту на кристал колумбіту-(Fe)

Порівняно з еталоном (Mineralogical…, 2005) кітянлінгіт з метасоматитів Пержанського родовища характеризується високим умістом FeO (у середньому 20,24 мас. % проти 14,64 мас. % в еталоні), зниженим MnO (у середньому 1,86 мас. %). Уміст Ta_2O_5 вкрай низький (у середньому 1,67 мас. %), водночас Nb_2O_5 — високий (у середньому 41,10 мас. %), а вміст вольфраму коливається в широких межах — від 27,11 до 37,4 мас. %. За цими особливостями хімічного складу кітянлінгіт із метасоматитів Перги відрізняється також від кітянлінгіту з пегматитів Володарсько-Волинського родовища (табл.).

Таблиця

Вміст основних оксидів у кітянлінгіті з України, мас. %

Точки аналізування	TiO_2	MnO	FeO	Nb_2O_5	SnO_2	Ta_2O_5	WO_3
P-11b-big 10	1,381	1,837	18,795	46,738	0,512	2,125	27,107
P-11b-big 23	1,451	1,924	21,869	36,601	0,409	1,622	36,33
P-11b 14	0,793	2,401	19,293	38,014	0,376	1,441	37,4
P-11b 28	1,323	1,91	19,509	45,983	0,517	1,867	28,6
P-11b 31	1,83	1,202	21,753	38,16	0,664	1,305	36,085
1-1	1,46	4,58	12,57	27,8	0	20,53	33,06
1-2	1,45	4,63	13,04	29,02	0	21,57	31,52
1-3	1,75	4,61	12,4	27,55	1,23	20,64	32,23
1-4	1,45	4,4	12,55	26,54	1,2	21,13	31,12
1-5	1,49	4,66	12,44	27,28	0,98	20,96	31,93
Еталонний зразок	1,23	6,01	14,64	34,06	0,36	11,73	32,30

Примітки. 1-1—1-5 — Naumenko et. al., 2019; еталонний зразок — Mineralogical…, 2005.

За вмістом основних оксидів до еталонного зразка ближчий кітянлінгіт із пегматитів, ніж із метасоматитів (середнє абсолютне відхилення становить 2,87 і 3,99 % відповідно).

На потрійній діаграмі катіонного складу фігуративні точки дослідженого нами кітянлінгіту розташовані в її центральній частині між колумбітом, вольфрамітом і рутилом на лінії вольфраміт — колумбіт (рис. 2). Отже, основні варіації складу спостерігаються у катіонних групах (Nb + Ta) і (Mn + Fe). На цій діаграмі проаналізовані нами зерна кітянлінгіту з метасоматитів Перги утворюють дві групи: одна наближається до поля колумбіту, інша виявляє зсув у бік вершини (Mn + Fe). Натомість точки складу кітянлінгіту з пегматиту Володарськ-Волинського родовища розміщені дуже щільно, що вказує на хімічну однорідність дослідженого мінералу.

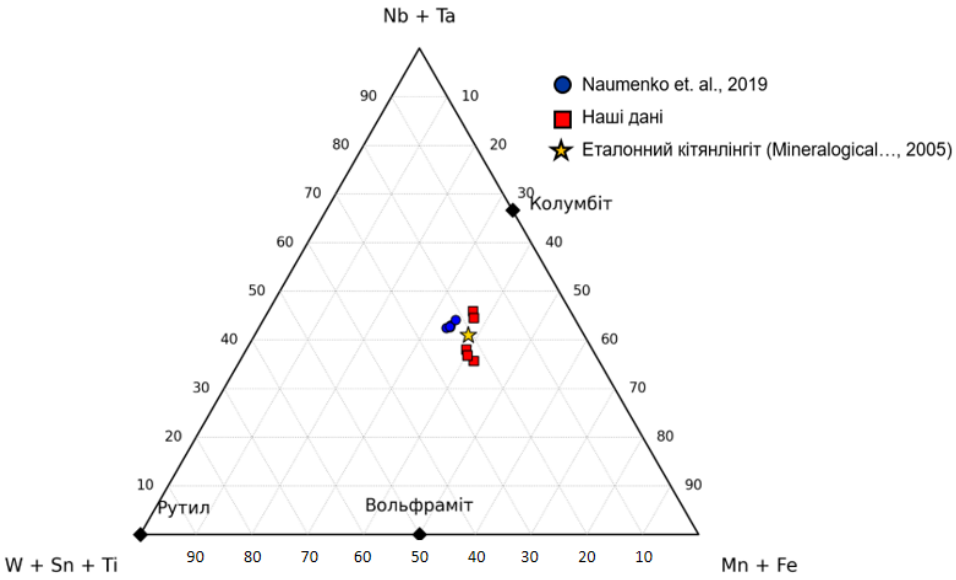


Рис. 2. Катіонний склад кітянлінгіту з України

Висновки. Вперше виявлено і проаналізовано *in situ* кітянлінгіт в метасоматично змінених гранітах, де він утворюється як вторинний мінерал у процесі заміщення більш ранніх, імовірно магматичного походження, ферберити та колумбіту. Виявлено більшу варіативність його складу, зокрема завдяки коливанням умісту W, порівняно з типовими знахідками цього мінералу в пегматитах. Ця відмінність може бути зумовлена різними шляхами його утворення в досліджених метасоматитах — як вторинного мінералу під час заміщення ферберити (вищий уміст W), або колумбіту.

Список використаних джерел / References:

Breasley, C. M., Groat, L.A., Martins, T., Linnen, R. L., Larson, K. P., & Henry, R. E. (2024). Mineralogy and petrology of the petalite-subtype Prof pegmatite, Revelstoke, British Columbia, Canada. *Mineralogical Magazine*, 88(6), 698–720. https://doi.org/10.1180/mgm.2024.49

Dolníˇcek, Z., Ulmanová, J., Vrtiška, L., Malý, K., Krejˇcí Kotlánová, M., & Koutˇnák, R. (2024). Mineralogy and Origin of Vein Wolframite Mineralization from the Pohled Quarry, Havlíˇck˚uv Brod Ore District, Czech Republic: Interaction of Magmatic and Basinal Fluids. *Minerals*, 14(6), 610. https://doi.org/10.3390/min14060610

Marcoux, É, Barré, B., Pichavant, M., & Poujol, M. (2021). Âge et genèse de la coupole granitique à métaux rares (Sn, Li, Nb-Ta, W) de Montebras (Creuse, Massif central français). *BSGF – Earth Sciences Bulletin*, 192, 16. https://doi.org/10.1051/bsgf/2020042

Mineralogical Society of America. (2005). *Qitianlingite*. Handbook of Mineralogy. https://www.handbookofmineralogy.org/pdfs/qitianlingite.pdf

Naumenko, Eu., Andreev, A., & Shnyukov, S. (2019). Qitianlingite – a new mineral from the granite pegmatites of the Volodarsk-Volyn deposit. *Monitoring 2019*, *2019*(Nov 2019), 1–5. https://doi.org/10.3997/2214-4609.201903182

Tallarico, F. H. B., McNaughton, N. J., Groves, D. I., Fletcher, I. R., Figueiredo, B. R., Carvalho, J. B., Rego, J. L., & Nunes, A. R. (2004). Geological and SHRIMP II U-Pb constraints on the age and origin of the Breves Cu-Au-(W-Bi-Sn) deposit, Carajás, Brazil. *Mineralium Deposita*, 39, 68–86. https://doi.org/10.1007/s00126-003-0383-y

Yang, G., Wang, S., Peng, Z., & Bu, J. (1985). Qitianlingite – a newly discovered superstructure complex oxide. *Acta Mineralogica Sinica*, 5(3), 193–198 [in Chinese].

УДК 551.24+553.98(477.8)

ПЕРСПЕКТИВИ НАФТОГАЗОНОСНОСТІ ЛИБОХОРСЬКОЇ СТРУКТУРИ КРОСНЕНСЬКОГО ПОКРИВУ

Шлапінський В.Є., *к. геол. н., ORCID ID 0009-0009-0403-8421, vlash.ukr@gmail.com;*
Павлюк М.І., *д. геол.-мін. н., професор, академік НАН України, ORCID ID 0000-0001-8741-0624, pavlyuk.myroslav@gmail.com;*
Лазарук Я.Г., *д. геол. н., с. н. с., ORCID ID 0009-0002-2016-3424, lazarukjaroslav@gmail.com;*
Савчак О.З., *к. геол. н., с. н. с., ORCID ID 0000-0003-1491-7613, savchakolesya@gmail.com;*
Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, Львів, Україна

Либохорська структура локалізована в Кросненському покриві поблизу с. Либохора Самбірського району Львівської області. Структура представляє собою зірване південно-західне крило синклінальної складки. Перспективні відклади –потужна пачка пісковиків головецької світи надійно екрановані від поверхні (тектонічно екранований поклад). У картувальна свердловина 124-Лімна з глибини 50 м отримали приплив горючого газу з вмістом метану 94,2%. Якщо враховувати, що перспективна луска простягається сюди під насувом луски Либохора-Вепровець, то газ може надходити у приповерхневі шари саме з прогнозованої пастки. З метою розкриття ймовірного покладу газу пропонується пробурити свердловину 1-Либохора проєктною глибиною 2300 м.

Ключові слова: Либохорська структура, прогноз, пастка.

OIL AND GAS PROSPECTS OF THE LYBOKHORA STRUCTURE OF KROSNO NAPPE

Shlapinsky V., *Cand. Sci. (Geol.), ORCID ID 0009-0009-0403-8421, vlash.ukr@gmail.com;*
Pavlyuk M., *Dr. Sci. (Geol.-Mineral.), Prof., academician of NAS of Ukraine, ORCID ID 0000-0001-8741-0624, pavlyuk.myroslav@gmail.com;*
Lazaruk Ya., *Dr. Sci. (Geol.), Senior Researcher, ORCID ID 0009-0002-2016-3424, lazarukjaroslav@gmail.com;*
Savchak O., *Cand. Sci. (Geol.), Senior Researcher, ORCID ID 0000-0003-1491-7613, savchakolesya@gmail.com;*
Institute of Geology & Geochemistry of Combustible Minerals of NAS of Ukraine

The Lybokhora structure is located within the Krosno Nappe near the village of Lybokhora in the Sambir District of the Lviv Region. The structure consists of the detached southwestern limb of a synclinal fold. The prospective deposits – a thick sequence of sandstones belonging to the Holovetska Formation – are reliably sealed off from the surface (forming a tectonically sealed accumulation). An inflow of combustible gas with a methane content of 94.2% was obtained from a depth of 50 m in mapping well 124-Limna. Given that a prospective thrust sheet extends into this area beneath the Lybokhora-Veprovets thrust sheet, the gas may be migrating into the near-surface layers from the predicted trap. To test for the probable gas deposit, it is proposed to drill well 1-Lybokhora to a planned depth of 2,300 m.

Keywords: Lybokhora structure, forecast, trap.

Вступ. Либохорська площа розташована в Самбірському районі Львівської області поблизу села Либохора на віддалі 3 км на південний захід від Ужоцького перевалу. У 2015 р. В. Шлапінський на замовлення ДП «Юсенко Україна» виконав науково-дослідну роботу з оцінки перспектив нафтогазоносності Бітлянської ліцензійної ділянки і суміжних теренів. У результаті він залучив Либохорську площу, виявлену ним у 2008 р. до рангу перспективних. Її перспективи пов'язані з вузькою Південносянківською лускою, розміщеною між лусками Сянки-Сигловате з північного сходу і Либохора-Вепровець з південного заходу (рис. 1, 2). Усі перелічені луски на денній поверхні складені виключно відкладами олігоцену бітлянського підтипу кросненського літотипу. Для останнього характерні розрізи з високим вмістом сірих карбонатних аргілітів і незначний вміст чорних менілітоподібних аргілітів. У розрізах головецької і верховинської світ присутні пачки товстошаруватих, подекуди пористих пісковиків. Протяжність Південносянківської луски 10 км, ширина – до 0,5 км. Поперечним скидо-зсувом.

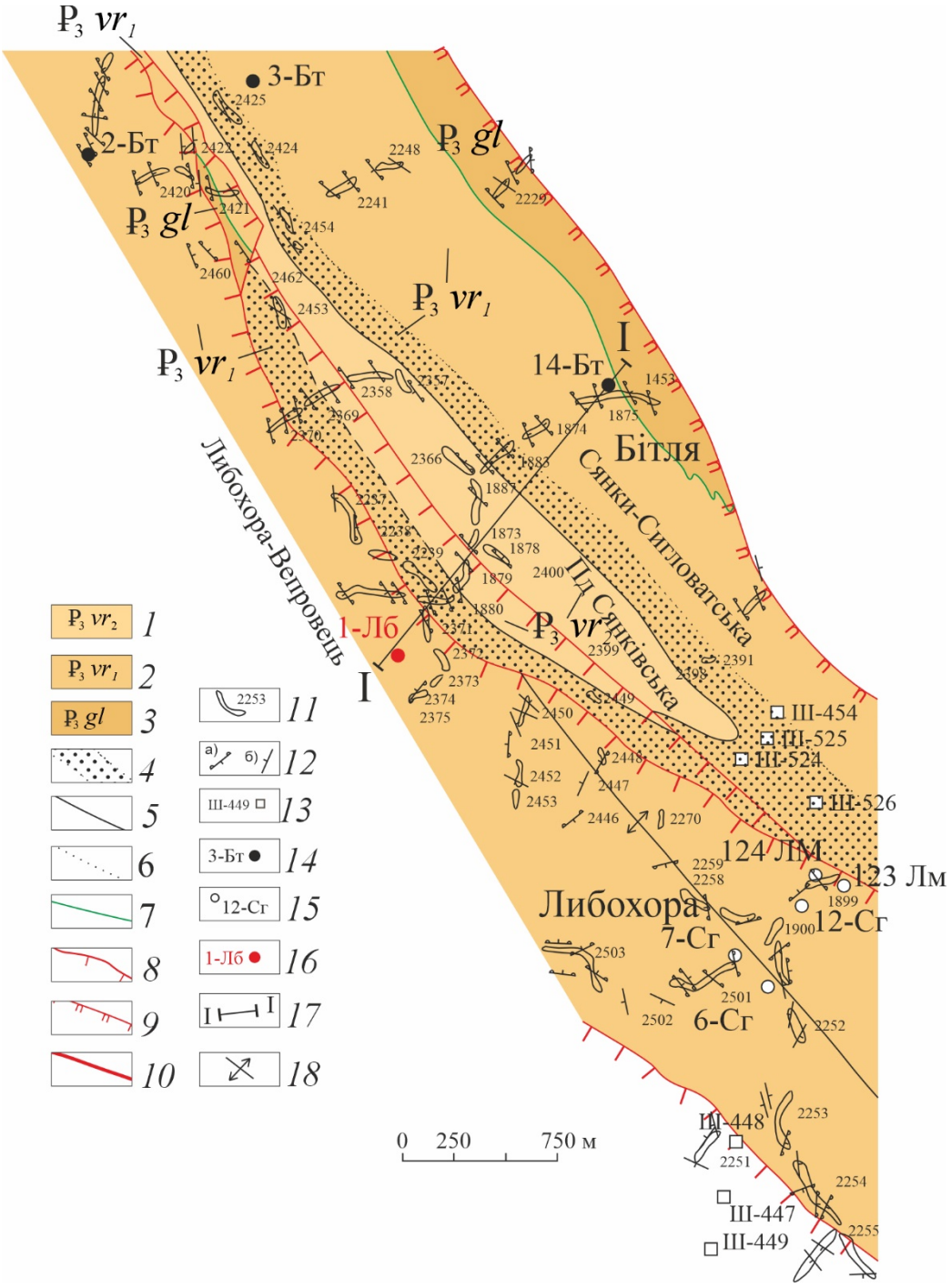


Рис. 1. Геологічна карта площі Либохора
(склали В. Шлапінський, М. Павлюк, М. Тернавський).
Олігоцен: 1 – середньоверховинська підсвіта, 2 – нижньоверховинська підсвіта, 3 –головецька світа; 4 – піщані пачки; 5 – геологічні границі згідні, 6 – літологічні границі, 7 – смугасті вапняки, насуви: 8 – лусок, 9 – скиб, 10 – скидо-зсуви, 11 – відслонення, 12 – елементи залягання: а) – з гієрогліфами, б) – без гієрогліфів, 13 – шурфи, 14 – структурно-пошукові свердловини площі Бітля, 15 – картувальні свердловини площ Сигловате і Лімна, 16 – рекомендована свердловина 1-Лб (Либохора), 17 – лінія геологічного розрізу, 18–вісь антикліналі.

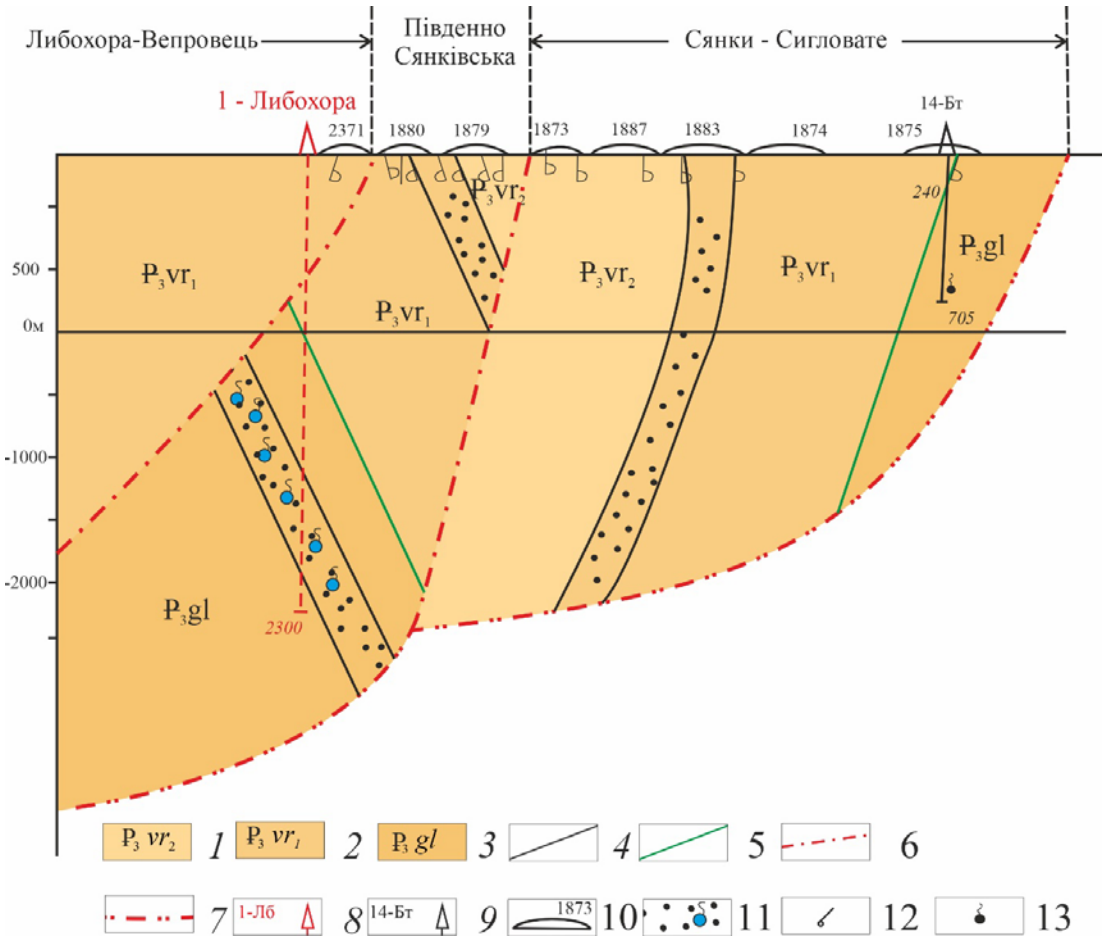


Рис. 2. Геологічний розріз через Либохорську ділянку (склали В. Шлапінський, М. Павлюк, М. Тернавський). Олігоцен: 1 – середньоверховинська підсвіта, 2 – нижньоверховинська підсвіта, 3 –головецька світа; 4 – геологічні границі згідні, 5 – смугасті вапняки, насуви: 6 –лусок, 7 –скиб, 8 – рекомендована свердловина 1-Лб (Либохора), 9 – структурно-пошукова свердловина 14-Бт (Бітля), 10 – відслонення площі Лімна, 10 – піщані горизонти, 11 – газонасичені піщані відклади, 12 – елементи залягання з гієрогліфами, 13-нафтопрояв

Мета. Визначеннння перспектив нафтогазоносності Либохорської структури Кросненського покриву.

Методи. тектонічний, стратиграфічний, геолого-геофізичний.

Новизна дослідження. У північно-західному з них протяжністю 2,5 км і шириною 0,4 км закартований вихід маркувального горизонту смугастих вапняків. На відміну від більшості карпатських лусок у фронтальній частині Південносянківської луски виходять не породи старшої за віком головецької світи, а нижньоверховинські верстви. Про нормальні, нетектонічні контакти між підсвітами свідчать ієрогліфи на південно-західних частинах пластів, відзначені в ході геолого-знімальних робіт на площі Лімна [1]**.** У південно-східному блоці смугасті вапняки на денну поверхню не виходять. У фронтальній частині луски присутні породи середньоверховинської підсвіти, а в південно-західному напрямку – нижньоверховинської підсвіти. Середньоверховинські відклади Південносянківської луски з північного сходу незгідно контактують з породами тієї ж світи сусідньої луски Сянки-Сигловате. У цій лусці спостерігається звичайна для більшості карпатських лусок послідовність: у фронті древніші комплекси, а в тильній частині – молодші. Здавалось би, що середньоверховинські відклади обох лусок виповнюють мульду синкліналі, проте це не так, тому що її південно-західне крило має набагато меншу товщину, ніж північно-східне. Таким чином маємо досить рідкісний випадок насувного зриву у мульді синкліналі (рис. 1). Це виняток в розподілі таких структур. В абсолютній більшості випадків у Складчастих Карпатах підвернуті зірвані

крила зустрічаються в ядерних частинах антикліналей або на їхніх північно-східних крилах.

Характерною літолого-стратиграфічною особливістю Яворів-Пилипецької, Сянки-Сигловатської і Південносянківської лусок є наявність одразу під середньоверховинськими відкладами потужної, до 200 м, пачки з перевагою товстошаруватих пісковиків у верхах нижньоверховинської підсвіти. Щоправда, в першій лусці вони виходять на денну поверхню і інтересу в сенсі нафтогазоносності не представляють. Відклади головецької світи у широкій лусці Сянки-Сигловате також у значній мірі розкриті. Натомість у значно вужчій Південносянківській лусці вони знаходяться під доволі похилим насувом сусідньої Либохора-Вепровецької луски.

Враховуючи ідентичність розрізу обох лусок (рис. 2), про розріз головецької світи можна судити з результатів буріння структурно-пошукової свердловини 12-Бітля [2]. Нею на 250 м нижче горизонту смугастих вапняків розкрита 200-метрова піщана пачка. У лусці Сянки-Сигловате вона виходять на денну поверхню, а от у Південносянківській лусці пісковики цієї пачки надійно екрановані від поверхні насувом луски Либохора-Вепровець. Таким чином в цьому випадку присутня тектонічно екранована пастка.

Результати. Про вірогідну насиченість пастки вуглеводнями може свідчити наступне. На відстані 1,5 км на південний схід від останнього виходу Південносянківської луски у нижньоверховинських відкладах луски Либохора-Вепровець неподалік від її насуву на Південносянківську луску пробурена картувальна свердловина 124-Лімна [1] – (див. рис. 1). У ній з глибини 50 м отримали приплив горючого газу з вмістом метану 94,2%. Якщо враховувати, що Південносянківська луска простягається сюди під насувом луски Либохора-Вепровець, то газ може надходити у приповерхневі шари саме з прогнозованої пастки по тріщинах, які супроводжують зону насуву. Відсутність проявів газу на денній поверхні свідчить про достатню ізольованість пастки. З метою розкриття ймовірного покладу газу пропонується пробурити свердловину 1-Либохора проєктною глибиною 2300 м. Проєктним горизонтом є піщана пачка у верхах головецької світи.

Список використаних джерел:

1. Кузовенко В. В., Жигунова З. Ф., Петров В. Г. (1973). Отчет о результатах комплексной геологической съёмки масштаба 1:50 000, проведенной на площади Ломна Львовской и Закарпатской областей УССР в 1969-1972 гг.Трест “Львовнефтегазразведка”. КГП. Львов. 170с. Фонди ДП “Західукргеологія”.

2. Старосельський М. В. (1959). Геологический отчет о результатах структурно-поискового бурения на площади Битля Львовской и Закарпатской областей УССР, проведенного в 1957-1958 гг. Трест “Львовнефтегазразведка”. ГПК. Львов. 168с. Фонди ДП “Західукргеологія”.

References

Kuzovenko V.V., Zhigunova Z.F., Petrov V.G. (1973). Report on the results of a complex geological survey on a scale of 1:50,000, conducted on the Lomna square of the Lviv and Zakarpattia regions of the Ukrainian SSR in 1969-1972. Trust "Lvivneftegazrazvedka". KGP. Lviv. 170 p. Funds of the State Enterprise "Zakhidukrgeologia".

Staroselskyi M. V. (1959). Geological report on the results of structural and exploratory drilling in the Bitlya area of the Lviv and Transcarpathian regions of the Ukrainian SSR, conducted in 1957-1958. Trust "Lvivneftegazrazvedka". Code of Civil Procedure Lviv. 168 p. Funds of SE "Zakhidukrgeologia".

УДК 553.493.5:553.98:550.4

ОСНОВНІ ЧИННИКИ ФОРМУВАННЯ ЗРУДЕНІНЬ РІДКІСНИХ, РОЗСІЯНИХ ТА РІДКІСНОЗЕМЕЛЬНИХ ХІМІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ У ВУГІЛЬНИХ РОДОВИЩАХ СВІТУ ТА УКРАЇНИ

Дяків В.О.[1]*, к. геол. н., доцент, dyakivw@yahoo.com;*
Бурлуцький М.С.[2]***,*** *к. геол. н., Nikolay2205@i.ua,*
Бучацька Г.М.[1]*, асистент, e-mail: buchatska@ukr.net;*
Панченко А.В.[3]***,*** *к. екон. н., доцент, geoltechnologies@gmail.com*
1 – ЛНУ імені Івана Франка; ТзОВ «Інститут «ГІРХІМПРОМ», Львів, Україна,
2 – Державна служба геології та надр України, Київ, Україна,
3 – Національний університет «Львівська політехніка», ТзОВ НВТП «Геол-Тех», Львів, Україна

Вугілля, що містить усі елементи, присутні в природі, та понад 200 мінералів, має складну хімічну структуру, що робить його одним із найскладніших геологічних матеріалів.

Неорганічна речовина у вугіллі включає мінерали (в яких концентрація елементів може варіюватися від слідів до основних), некристалічні мінералоїди та елементи з немінеральними асоціаціями, такі як ті, що зустрічаються в порових водах, органічно зв'язані або в органічній асоціації.

Розуміння способів появи елементів у вугіллі є важливим, оскільки теоретично вони надають корисну інформацію про відкладення торфу, діагенез та епігенез вугілля, формування вугільних басейнів та регіональний геологічний фон або еволюцію.

У цій статті проведено аналіз генетичних типів та геохімічних процесів, які призвели до формування зруденінь рідкісних, розсіяних хімічних елементів у родовищах вугілля по всьому світу.

Розглянуті основні фактори та чинники, які впливають на формування рудних тіл у вугільних родовищах, а саме:

-тектонічне положення та структурні елементи вугільних формацій;
- стратиграфічна характеристика розрізу;
- літологічні властивості вугленосних товщ;
- палеогеографічні умови формування вугільних родовищ;
- гідрогеологічні умови

Проведено аналіз вмісту рідкісних, розсіяних та рідкоземельних елементів у вугіллі, та визначені геологічні, геолого-геохімічні, мінералогічні, седиментаційні, геотектонічні та гідрогеологічно-гідрогеохімічні чинники їхнього акумулювання у вугленосних формаціях України та світу, а також встановлено закономірності формування їхніх зруденінь в родовищах вугілля.

Утворення руди у вугленосних структурах може відбуватися під час накопичення торфу, під час діагенезу органічної речовини або шляхом епігенезу.

Різні метали надходять до осадових басейнів у вигляді мінералів, що транспортуються водою та вітром, або у вигляді іонних форм у поверхневих водах, а також у низхідних та висхідних підземних водах, і можуть бути включені до складу торфу або вугілля.

Практично способи появи елементів відіграють значну роль у впливі на видобуток вугілля, підготовку вугілля, спалювання вугілля та його використання, а також у здійсненні негативного впливу як на навколишнє середовище, так і на здоров'я людини.

Ключові слова: вугілля, вуглевмісні відклади, критична сировина, кам’яновугільні та буровугільні басейни, чинники акумулювання рідкісних, розсіяних та рідкісноземельних елементів, зола.

KEY FACTORS CONTROLLING THE FORMATION OF RARE, DISPERSED AND RARE EARTH ELEMENT MINERALIZATION IN COAL DEPOSITS WORLDWIDE AND IN UKRAINE

Dyakiv V.[1]***,*** *Cand. Sci. (Geol.), Associate Professor, dyakivw@yahoo.com;*
Burlutskyi M.[2]***,*** *Cand. Sci. (Geol.), Nikolay2205@i.ua;*
Buchatska H.[1]***,*** *Asistant, buchatska@ukr.net;*
Panchenko A.[3]***,*** *Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor, geoltechnologies@gmail.com.*
1 – Ivan Franko National University of Lviv; LLD "Institute" GIRHIMPROM ", Lviv, Ukraine,
2 – State Service of Geology and Subsoil of Ukraine, Kyiv, Ukraine,
3 – Lviv Polytechnic National University, LLC "Geological technology", Lviv, Ukraine

Coal, which contains all naturally occurring elements and more than 200 minerals, has a complex chemical composition, making it one of the most complex geological materials.

The inorganic matter in coal includes minerals, in which element concentrations may range from trace to major levels, non-crystalline mineraloids, and elements occurring in non-mineral associations, such as those present in pore waters, organically bound, or associated with organic matter.

Understanding the modes of occurrence of elements in coal is important because, in principle, they provide valuable information on peat deposition, coal diagenesis and epigenesis, the formation of coal basins, and the regional geological setting or geological evolution.

This paper analyzes the genetic types and geochemical processes that resulted in the formation of mineralization of rare and dispersed chemical elements in coal deposits worldwide.

The main factors controlling the formation of ore bodies in coal deposits are considered, including:

- the tectonic setting and structural elements of coal-bearing formations;
- the stratigraphic characteristics of the geological section;
- the lithological properties of coal-bearing strata;
- the palaeogeographic conditions of coal-deposit formation;
- hydrogeological conditions.

The contents of rare, dispersed, and rare-earth elements in coal were analyzed, and the geological, geological-geochemical, mineralogical, sedimentological, geotectonic, hydrogeological, and hydrogeochemical factors controlling their accumulation in coal-bearing formations of Ukraine and worldwide were identified. The закономірності formation of their mineralization in coal deposits were also established.

Ore formation in coal-bearing structures may occur during peat accumulation, during the diagenesis of organic matter, or through epigenetic processes.

Various metals enter sedimentary basins as water- and wind-transported minerals or in ionic forms carried by surface waters, as well as by downward- and upward-moving groundwater, and may subsequently become incorporated into peat or coal.

In practical terms, the modes of occurrence of elements play an important role in determining the effects of coal mining, coal preparation, coal combustion, and coal utilization, as well as their potential adverse impacts on both the environment and human health.

Keywords: coal, coal-bearing deposits, critical raw materials, bituminous coal and lignite basins, factors controlling the accumulation of rare, dispersed, and rare-earth elements, ash.

Вступ. Вугілля є найдавнішим видом вуглеводневого палива, що використовується людьми для виробництва енергії.

Вугілля – це ресурс, який в основному використовується для виробництва електроенергії та наразі забезпечує 41% світових потреб в електроенергії.

Вугільні ресурси значно більші, ніж нафта та газ, і можуть задовольняти світові енергетичні потреби протягом сотень років. Тим не менш, використання вугілля для виробництва електроенергії постійно скорочується в багатьох країнах через його серйозний вплив на навколишнє середовище в результаті як видобутку вугілля, так і його спалювання на теплових електростанціях.

З іншого боку, людство не може повністю заперечувати роль вугілля в глобальній енергетичній матриці через низьку вартість вугільної енергії, порівняльну велику кількість вугільних ресурсів та досить рівномірний розподіл вугільних родовищ на поверхні планети.

Вугілля залишатиметься домінуючим енергетичним паливом для багатьох країн, які мають обмежені ресурси нафти та газу, і, отже, може обмежити ступінь, до якої людство може зменшити загальний вуглецевий слід та рухатися до «зеленішого» та більш сталого майбутнього. Уряди та вчені багатьох країн вже намагалися вирішити цю проблему різними методами.

Традиційні методи зменшення негативного впливу вугільної енергетики на навколишнє середовище включають впровадження сучасних методів видобутку, збагачення та спалювання твердого палива, а також переробку вугілля на газоподібне та рідке паливо. Однак існує й інший спосіб пом'якшення негативного впливу на навколишнє середовище, пов'язаного з вугільною енергетикою: видобуток деяких рідкісних металів з вугільних родовищ та відходів спалювання вугілля, необхідних для «чистої» енергетики, на основі як альтернативних джерел енергії, так і енергоефективних технологій.

На сучасному етапі розвитку критичної мінеральної сировини, коли запаси традиційних джерел рідкісних та рідкісноземельних хімічних елементів постійно зменшуються, питання пошуку нетрадиційних джерел набуває особливої актуальності [1].

Одним із таких джерел є родовища вугілля.

Вугілля – це ресурс, який в основному використовується для виробництва електроенергії та наразі забезпечує 41% світових потреб в електроенергії. Вугілля також можна розглядати як економічне джерело стратегічно важливих елементів, таких як Ge, Ga, U, V, Se, рідкоземельні елементи , Y, Sc, Nb, Au, Ag та Re, а також базові метали Al та Mg.

Видобуток та використання цих критично важливих елементів з вугілля може призвести до низки переваг, що зробить це джерело економічно та екологічно привабливим варіантом, особливо для Китаю, США, Росії, Індії та інших країн, які залишатимуться основними споживачами вугілля в найближчому майбутньому.

Видобуток та використання критично важливих елементів з вугілля та вугільної золи може призвести до багатьох переваг:

1) вирішення поточних обмежень розвитку нових традиційних шахт з видобутку руди;

2) стабільне постачання критично важливих елементів і, таким чином, забезпечення національної безпеки;

3) зниження вартості необхідної інфраструктури та видобутку корисних копалин шляхом використання легкодоступного промислового побічного продукту;

4) усунення необхідності відкривати малорентабельні шахти та пов'язаного з ними руйнування навколишнього середовища [2].

Через зростаючий дефіцит, високі ціни, виснаження ресурсів традиційних руд та попит на критично важливі метали, розвідка родовищ вугільних руд (або металоносного вугілля) на наявність критично важливих елементів є важливою для економічного зростання та безпеки національної оборони.

Виклад основного матеріалу. Найбільші кам’яновугільні та буровугільні басейни світу поширені на усіх без винятку континентах та більшість країн світу мали чи мають до них доступ (рис. 1).

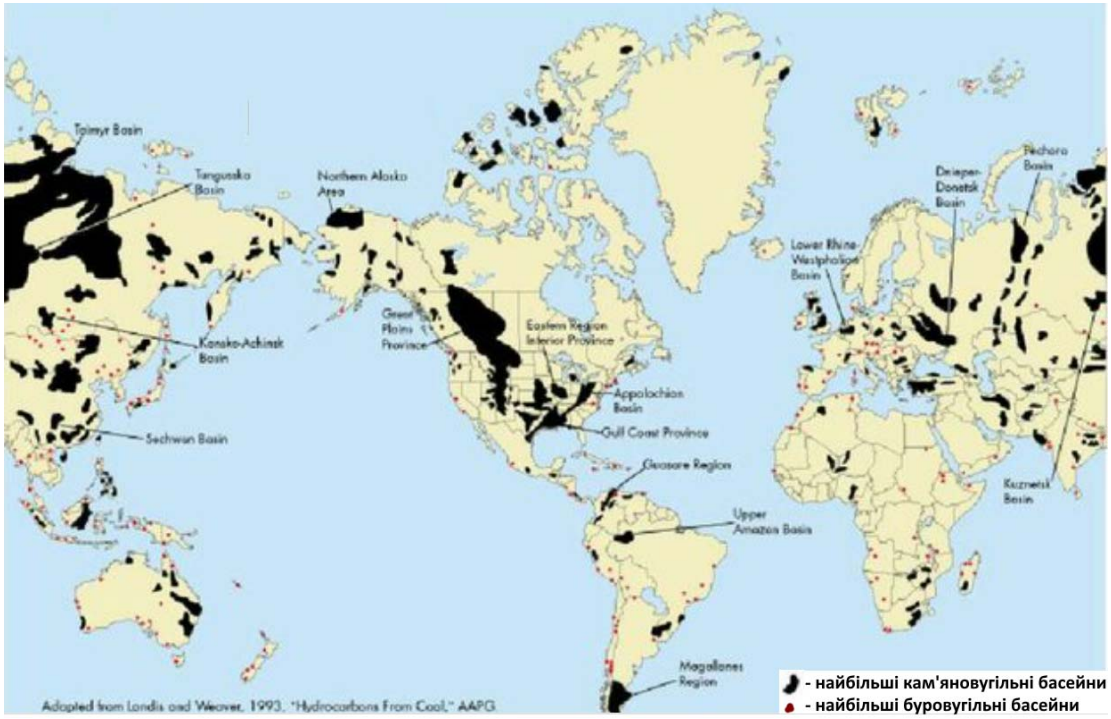


Рис. 1. Глобальне поширення кам’яновугільних та буровугільних басейнів [3]

Вугілля – це складний матеріал, що утворюється в результаті діагенезу органічної речовини та включає широкий спектр мінералів хімічних елементів (рис. 2).

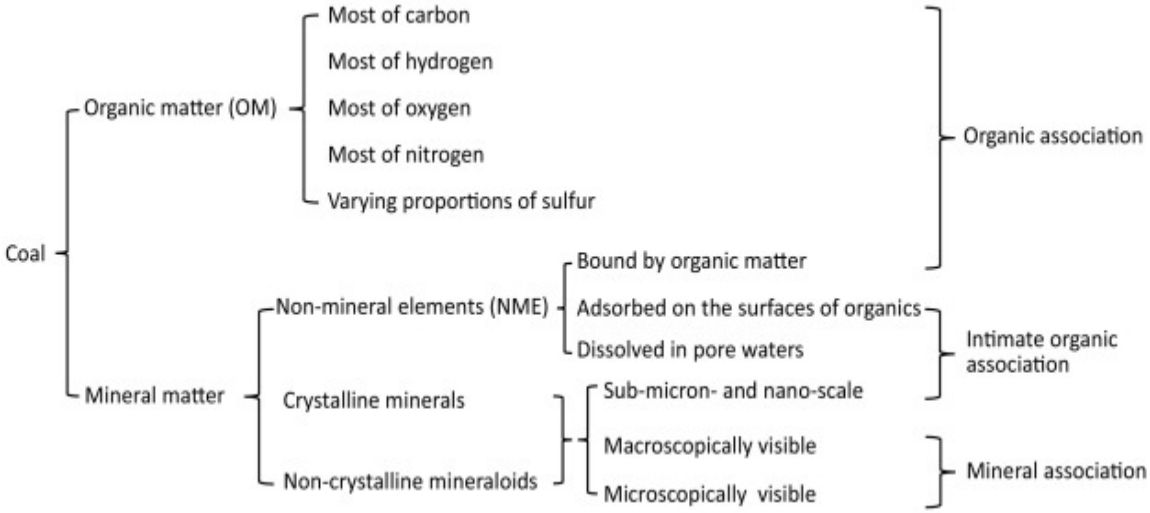


Рис. 2. Компоненти вугілля та відповідні їм органічні, тісно пов'язані органічні та мінеральні асоціації [4]

Способи утворення елементів у вугіллі класифікуються на органічні, мінеральні та тісні органічні асоціації.

До тісних органічних асоціацій належать ті, що адсорбовані на поверхні органічних речовин, розчинені в порових водах та містяться в дуже дрібнозернистих мінералах.

Більшість елементів, визначених у вугіллі, мають різний ступінь органічної асоціації.

Вугілля, що утворюється із залишків або спор водоростей, називається сапропелевим вугіллям, а вугілля, що утворюється в результаті розкладання вищих рослин, – гуміновим вугіллям; останнє є найпоширенішим типом вугілля та використовується для виробництва електроенергії та виробництва чавуну та сталі.

Торф, попередник вугілля, утворюється в болотистих середовищах, а його характеристики визначаються низкою факторів, таких як тип рослинності, рівень ґрунтових вод, ступінь гуміфікації, мікробна та пасивна активність, а також надходження детритних осадових уламків.

З прогресуючим діагенезом та метаморфізмом вуглефікація відбувається від торфу через лігніт до метаантрациту. Завдяки цьому процесу деякі немінеральні елементи, наприклад, сірка, а також деякі основні та мікроелементи (наприклад, Al, Ca, Mg, рідкісноземельні елементи, As, U та Ge), які зазвичай пов'язані з мінералами в природі, можуть бути включені до структури мацералу (найпоширенішим прикладом є органічна сірка) або пов'язані, наприклад, у вигляді хелату, з органічним каркасом мацералу, або розчинені в порових водах у вугіллі низького рангу. Принаймні на стадіях біогеохімічної вуглефікації від рослини до торфу та лігніту закони геохімії все ще діють. Як аналогія, попередники вугілля були не просто сумішшю готових органічних хімічних речовин та дрібки мінералів, причому партія ферментувалася та перетворювалася протягом невизначеного часу; вони були, натомість, складною та динамічною живою та метаболізуючою сумішшю, яка зрештою утворювала вугілля.

У світі існує багато родовищ вугілля з високим вмістом рідкісних, розсіяних та рідкісноземельних елементів.

Рідкісні метали зосереджені як у вугіллі, так і в породах, що їх вміщують, та у фундаменті.

Генезис скупчень металів та спосіб їх виникнення можуть бути різними.

Концентрації критичних металевих елементів у вугіллі та золі спалювання вугілля порівнянні або навіть вищі, ніж ті, що містяться у звичайних рудних родовищах, що

зробило родовища, що містять вугілля, перспективним джерелом критичних металів у найближчому майбутньому.

Вугілля також можна розглядати як економічне джерело стратегічно важливих елементів, таких як Ge, Ga, U, V, Se, рідкоземельні елементи , Y, Sc, Nb, Au, Ag та Re, а також базові метали Al та Mg.

Видобуток та використання цих критично важливих елементів з вугілля може призвести до низки переваг, що зробить це джерело економічно та екологічно привабливим варіантом, особливо для Китаю, США, Росії, Індії та інших країн, які залишатимуться основними споживачами вугілля в найближчому майбутньому.

Зокрема, видобуток та використання критично важливих елементів з вугілля та вугільної золи може посприяти:

1) вирішення поточних обмежень розвитку нових традиційних шахт з видобутку руди;

2) стабільне постачання критично важливих елементів і, таким чином, забезпечення національної безпеки;

3) зниження вартості необхідної інфраструктури та видобутку корисних копалин шляхом використання легкодоступного промислового побічного продукту;

4) усунення необхідності відкривати малорентабельні шахти та пов'язаного з ними руйнування навколишнього середовища.

Через зростаючий дефіцит, високі ціни, виснаження ресурсів традиційних руд та попит на критично важливі метали, розвідка родовищ вугільних руд (або металоносного вугілля) на наявність критично важливих елементів є важливою для економічного зростання та безпеки національної оборони.

Рідкоземельні елементи (далі - РЗЕ) привернули значну увагу в останні роки, розглядаючись як критично важливі метали через домінування Китаю в їхньому ланцюжку поставок. Це незважаючи на те, що відомо, що збагачення РЗЕ існує в широкому діапазоні умов і було предметом численних нещодавніх досліджень.

Хоча РЗЕ часто називають окремою групою, на практиці кожен окремий елемент має певний набір кінцевих застосувань, тому попит на них різниться [5].

Мінералізація з обмінними рідкісноземельними елементами (далі - REE) та ітрієм (MEX-REY) була виявлена в профілях вивітрювання в Південному Китаї з початку 1970-х років.

Цей тип REY мінералізації зустрічається в профілях вивітрювання материнських порід, склад яких варіюється від граніту до кислих вулканічних порід та лампрофіру.

Більшість відомих ресурсів зустрічаються в профілях вивітрювання гранітних порід.

Загальні ресурси цього типу REY становлять мільйони тонн оксидів рідкісноземельних елементів, і тому є одним з найважливіших типів рідкісноземельних ресурсів у Китаї, особливо для важких рідкісноземельних елементів (HREE) та ітрію.

Накопичення REY у профілях вивітрювання гранітних порід сильно контролюється стійкістю до вивітрювання основних акцесорних мінералів, що містять REY, у материнських породах; лише обмежена частка загального REY (< 30%) включена до складу породоутворюючих мінералів [6].

Основними джерелами рідкісних, зокрема германію, а також рідкісноземельних елементів відповідно до [11] є:

- гідротермальні флюїди
- вулканічні матеріали
- підземні води
- органічна речовина

Варто зазначити, що як встановлено різними дослідниками є органічна речовина відіграє ключову роль у зв’язуванні та транспортуванні германію.

Ізотопний аналіз може бути ефективним інструментом для дослідження геохімічних процесів, оскільки ізотопні співвідношення можуть відображати як джерело елементів, так і механізми їх фракціонування під час міграції та осадження [6].

У статті Цзюньфен Дай, Деру Сю, Тен Ден (2021) запропоновано шість генетичних типів родовищ критичних металів, що містять вугілля, тобто космічний тип, теригенний тип, піракластичний тип, тип зовнішньої інфільтрації флюїдів, гідротермальний тип та накладений тип [7].

При цьому, основними методами аналізу є комбіновані SEM-EDS та BSE з ICP-MS, ICP-AES та EMPA.

Вищезазначені автори узагальнили генезис руди та тенденції досліджень. Крім того, вони порушили кілька наукових питань, таких як зв'язок між магматизмом та зруденінням критичних металів, фактори, що впливають на поширення критичних металів, застосовані методи аналізу та технічні інновації в розробці, збагаченні та плавці родовищ критичних металів, що містять вугілля.

Враховуючи зазначене, були зроблено висновки щодо комплексного використання родовищ критичних металів, що містять вугілля, що не лише може надати наукові докази для металогенетичних теоретичних досліджень, розвідки та експлуатації родовищ критичних металів, але й сприятиме корисному використанню вугільних шахт екологічним та сталим способом.

Вище ми згадували, що сучасні методи видобутку є методами з високим впливом на забруднення, через що численні об'єкти по всьому світу залишаються невикористаними.

Видобуток металів з вугільних родовищ – це новий шлях, в тому числі, і для розвитку чистої енергетики.

Вугілля, багате на рідкісні метали (роїди), утворюється за різних геологічних умов на різних етапах еволюції вугільних басейнів та внаслідок різних рудоутворюючих процесів.

Середін та Фінкельман свого часу (2004-2008 рр.) виділили наступні генетичні типи накопичення рідкісних металів у вугіллі:

-теригенний тип, з надходженням сировини в іонній та колоїдній формах з поверхневих вод;

- туфовий тип, пов'язаний з випаданням кислого та лужного вулканічного попелу, збагаченого рудними речовинами;

- інфільтрація або метеорні ґрунтові води;

- накопичення металів у рослинах при торфоутворенні [8].

Найбільшою проблемою відновлюваних джерел енергії, окрім низької концентрації ресурсів, є те, що ці мінерали пов'язані з радіоактивними елементами (зокрема, торієм та ураном). Тому вони потребують дорогих заходів щодо пом'якшення наслідків для забезпечення належного захисту навколишнього середовища та безпеки працівників.

Навіть якщо дебати щодо справжньої рідкості на ринку відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) все ще тривають – особливо внаслідок дослідження Goldman Sachs, завдяки новій гірничодобувній діяльності західних компаній – сподівання на те, що ціни в короткостроковій перспективі можуть повернутися до адміністративного рівня, і що країни-виробники не скористаються своїм привілейованим становищем на благо власної промисловості, на жаль, все ще дуже далекі.

Вугілля з надзвичайно високою концентрацією потенційно цінних мікроелементів цікавило вчених понад 100 років, проте відносно мало було зроблено для використання цього потенціалу.

Це вугілля називають «мінералізованим» або «металовмісним».

У геологічному глосарії (1960) термін «металовмісне» визначається як «виробляє або містить метал: дає метал».

Хоча загальноприйнятого визначення терміна «металове вугілля» немає, він широко використовується в європейській вугільній літературі та з'явився в американській

вугільній літературі. Як правило, цей термін використовується для будь-якого вугілля з аномально високою концентрацією мікроелементів. Однак, немає конкретного рівня концентрації мікроелементів, за якого вугілля можна назвати металовмісним.

У окремих випадках вміст мікроелементів у металоносному вугіллі, і особливо в золі цього вугілля, дорівнює або навіть перевищує їх концентрації в багатьох традиційних типах руд.

Вугілля з такою високою концентрацією мікроелементів досить рідкісне та зазвичай невелике за обсягом. Тим не менш, ці дані показують, що в деяких геологічних середовищах вугілля може накопичувати багато мікроелементів, включаючи ті елементи, концентрації яких у більшості вугілля нижчі, ніж у середньому сланці або верхній континентальній корі (наприклад, Zr, Nb, REE тощо).

Металевмісне вугілля використовується вже понад 100 років як сировина для видобутку деяких цінних металів. Вугілля з Вайомінгу та Юти (США) використовувалося для видобутку Au та Ag наприкінці 19-го та на початку 20-го століть.

У післявоєнні роки металевмісне вугілля було одним з основних джерел урану в СРСР та Сполучених Штатах.

На початку 1960-х років металевмісне вугілля використовувалося для видобутку Ge в СРСР та, в менших обсягах, у Чехословаччині, а також у Великій Британії та Японії.

Металевмісне вугілля наразі експлуатується як джерело Ge в Росії, Узбекистані та Китаї. Сьогодні германійвмісне вугілля можна вважати основним джерелом германію для світової промисловості.

Деякі рідкісні та дорогоцінні метали можуть бути корисними економічними побічними продуктами очищення та спалювання вугілля, або їхня присутність у вугіллі може бути використана як інструмент геохімічної розвідки.

Перше родовище вугілля, багатого на германій, було виявлено в колишньому СРСР у долині річки Ангрен (Узбекистан) наприкінці 1950-х років. Інші подібні родовища з вищим вмістом германію та вищими загальними ресурсами германію, ніж в Ангренському родовищі, були виявлені пізніше в різних регіонах Росії, а також у Китаї.

В багатьох басейнах світу можна знайти вугільні пласти, які містять потенційно цінні метали в золі, порівнянну з золою звичайних промислових руд.

Далекий Схід Росії та провінція Внутрішня Монголія в Китаї є регіонами з найбільшим поширенням германійвмісного вугілля, з передбачуваними запасами германію, які оцінюються приблизно в 6000–7000 тонн.

Комплексна розробка такого вугілля з вилученням цінних металів як побічного продукту може розглядатися як перспективний спосіб отримання деяких критично важливих металів для світової промисловості [8].

Критичні елементи у вугіллі, включаючи Ge, Li, рідкоземельні елементи, Se, Ga, Al, Nb, Zr, Re, U, елементи платинової групи та інші, привернули значну увагу не лише тому, що світова економіка значною мірою залежить від цих критичних елементів, які є рушійною силою важливих досягнень у сфері технологій та енергоефективності у світі, але також через їх високу концентрацію в деяких вугільних родовищах, які можна промислово видобувати та видобувати з вугільної золи.

Серед цих критичних елементів у вугіллі германій у вугіллі є найуспішнішим прикладом вилучення критичного металу з вугільної золи за понад п'ять десятиліть [9].

Хоча більшість критичних елементів у вугіллі мають мінеральні асоціації, германій демонструє виключно органічну спорідненість та явно переважне збагачення гумінітами порівняно з іншими мацеральними групами, що було зроблено на основі як непрямого, так і прямого аналізів.

Значна залежність Сполучених Штатів Америки від імпорту критично важливих мінералів (КМ), включаючи рідкісноземельні елементи (РЗЕ), підкреслює важливість розвитку вітчизняних джерел.

Тому, на цей час вивчається можливість використання вугілля як джерела для отримання зазначених елементів. Зокрема, метою дослідження [10] було кількісно визначити концентрації рідкісних та рідкісноземельних елементів у вугіллі та вугільній золі 14 шахт в регіоні узбережжя Мексиканської затоки США [10].

Результати показують, що загальна концентрація РЗЕ + ітрію (РЗЕ) (на основі сухого вугілля) порівняння з концентраціями верхньої континентальної кори (далі - ВКК) з локалізованими гарячими точками, такими як шахта Техас Гіббонс Крік, складає РЗЕ ≤ ~ 2860 ppm.

При нормалізації до концентрації РЗЕ до ВКК (169 ppm, на основі сухого вугілля), співвідношення РЗЕ до ВКК для зразків вугілля узбережжя Мексиканської затоки коливаються від 0,1 до 17 (медіанне співвідношення 0,6).

Вилучність РЗЕ з лігнітів є високою (медіана: 63%–93%) при використанні екологічно безпечної слабкої кислоти.

Медіанна ціна кошика для видобутих РЗЕ у вигляді оксидів з вугілля, за умови 70% вилученості, становить 3,2 долара США за тонну вугілля та 186 мільярдів доларів США, виходячи з 58 мільярдів метричних тонн сухого вугілля на узбережжі Мексиканської затоки.

РЗЕ, важливі для магнітів (Pr + Nd + Tb + Dy), становлять ~ 80% від загальної вартості. Відповідна медіанна ціна кошика для видобутих РЗЕ у вигляді оксидів з вугільної золи, за умови ~ 30% вилученості, становить ~ 4,4 долара США за тонну золи та 1,2 мільярда доларів США, виходячи з 258 мільйонів тонн золи.

Виробництво РЗЕ з вугілля, ймовірно, вимагатиме побічних продуктів, таких як активоване вугілля або гумінові кислоти, для досягнення економічної доцільності.

Разом з тим, в [10] зазначається, що виробництво РЗЕ з вугільної золи може компенсувати витрати на очищення, пов'язані з потенційним забрудненням води.

Це розвідувальне дослідження показує потенціал для виробництва РЗЕ з вугілля та вугільної золи на узбережжі Мексиканської затоки; однак для соціально-економічної життєздатності, ймовірно, будуть потрібні побічні продукти утворення вуглецю та/або суспільні вигоди.

Що стосується Європейського Союзу, постачання деяких критично важливих видів сировини європейською промисловістю стає дедалі складнішим. Після випадку з натуральними текстильними волокнами, зокрема бавовною, та деревиною, за останні кілька років також загострилася проблема доступності рідкісноземельних елементів (РЗЕ).

97% світових поставок рідкісноземельних металів (РЗЕ) здійснюється Китаєм [2], який нещодавно значно скоротив свій експорт, очевидно, щоб захистити навколишнє середовище.

Цей факт значно підвищив ціни на РЗЕ, що спричинило напруженість та невизначеність на світових високотехнологічних ринках. Багато з цих матеріалів, фактично, мають дуже мало ефективних замінників, а також низькі показники переробки. Крім того, природні запаси рідкісноземельних елементів зосереджені в невеликій кількості країн (Китай, Бразилія, США, Росія, Демократична Республіка Конго).

РЗЕ – це група з 17 елементів, які використовуються, зокрема, в багатьох нових електронних та передових компонентах: таких як паливні елементи, мобільні телефони, дисплеї, акумулятори високої ємності, постійні магніти для виробництва енергії вітру, пристрої зеленої енергії тощо. Багато аналітиків передбачають набагато більшого попиту в наступні десятиліття на критичну сировину.

Причинами такого стану є:

- запаси нерівномірно розподілені у світі, і існують екологічні проблеми, пов'язані з видобуванням корисних копалин;
- китайські експортні квоти на РЗЕ впливають на динаміку цін;
- у промислові сектори, де актуальні РЗЕ, було зроблено величезні інвестиції;
- попит зростатиме, а ціни залишатимуться дуже високими найближчим часом;

- рівень переробки та можливі замінники найбільш стратегічних РЗЕ обмежені [11].

Фактично, кілька років тому багато країн-виробників та країн, що розвиваються, багатих на ресурси відновлюваних джерел енергії, застосували протекціоністську політику, скорочуючи експорт до ЄС, щоб захистити свої національні переробні галузі.

Китай, наприклад, який домінує на світовому ринку корисних копалин відновлюваних джерел енергії, постійно збільшував експортні мита на рідкісноземельні елементи.

Відомо, що згідно з рідкісноземельних металів (РЗМ) – це група з 17 елементів періодичної таблиці. Вони починаються з лантану (атомний номер 57) і закінчуються лютецієм (атомний номер 71), разом звані «групою лантаноїдів».

Скандій (атомний номер 21) та ітрій (атомний номер 39), що мають подібні фізичні та хімічні властивості (скорочення лантаноїдів), також входять до цієї групи.

Фактично, вони часто зустрічаються разом у природі. Виходячи з їхнього розташування в періодичній таблиці та їх атомних ваг, можна класифікувати ці елементи на легкі рідкісноземельні елементи (LREE) (лантан, церій, празеодим, неодим, прометій та самарій, з атомними номерами 57–62) та важкі рідкісноземельні елементи (HREE) (європій, гадоліній, тербій, диспрозій, гольмій, ербій, тулій, ітербій, лютецій, атомні номери 63–71).

Всі вони зустрічаються в природі у вигляді сполук, крім прометію, який отримують синтетичними методами [11].

Мінералізація з обмінними рідкісноземельними елементами (REE) та ітрієм (MEX-REY) була виявлена в профілях вивітрювання в Південному Китаї з початку 1970-х років.

Цей тип REY мінералізації зустрічається в профілях вивітрювання материнських порід, склад яких варіюється від граніту до кислих вулканічних порід та лампрофіру.

Більшість відомих ресурсів зустрічаються в профілях вивітрювання гранітних порід.

Загальні ресурси цього типу REY становлять мільйони тонн оксидів рідкісноземельних елементів, і тому є одним з найважливіших типів рідкісноземельних ресурсів у Китаї, особливо для важких рідкісноземельних елементів (HREE) та ітрію.

Накопичення REY у профілях вивітрювання гранітних порід сильно контролюється стійкістю до вивітрювання основних акцесорних мінералів, що містять REY, у материнських породах; лише обмежена частка загального REY (< 30%) включена до складу породоутворюючих мінералів.

Більшість елементів у вугіллі мають переважний спосіб виникнення, але жоден елемент не має лише одного способу виникнення, що відображає численні джерела та складну геологічну історію вугілля.

Способи потрапляння елементів у вугілля можуть бути досить різноманітними та складними. Це пов'язано з різноманітністю джерел елементів і мінералів, а також з довгою та складною історією процесу вуглефікації.

Елементи у вугіллі можуть надходити з різних джерел, включаючи: рослини-попередники та елементи, які вони містять; детритне надходження з однієї або багатьох джерел походження; елементи, розчинені в поверхні та дощовій воді, що живлять болото; пил, що переноситься повітрям, та випадіння вулканічного попелу; магматичні інтрузії; гідротермальні розчини; та елементи в ґрунтових водах, що просочуються через торф і вугілля.

Ґрунтові води можуть не тільки додавати елементи до вугілля, але й видаляти водорозчинні елементи. Походження мінералів у вугіллі може бути детритним, автигенним та епігенетичним, і всі вони потім можуть бути модифіковані шляхом діагенезу та епігенезу [12].

У зв’язку з цим, слід звернутися до рядів водної міграції елементів.

Для помірного поясу в карбонатній і кислій корі вивітрювання виділено такі ряди водної міграції [12].

Таблиця 1

Ряди водної міграції

Ряд	Склад	Коеф. міграції
I. Енергійно винесені	Cl, Br, I, S	$n \cdot 10^2$
II. Легко винесені	Ca, Na, Mg, K, Sr, Zn	$n \cdot 10$
III. Рухомі	SiO_2, P, V, Si, Mn, Co, Ni, Cu, Mo	$n \cdot 10^{-1}$
IV. Інертні	Fe, Al, Ti, Sc, Y, Zr, Hf, Nb, Ta, Sn	$n \cdot 10^{-2}$

Дослідженнями [12] рухливості ряду елементів з порід різного ступеня окисленості встановлено, що в першу чергу з кристалічних порід мігрує при дії води колоїдальний кремнезем. Зі збільшенням ступеня окислення кристалічних порід набувають рухливість як германій, так і інші рідкісні елементи.

Руйнівна робота ерозійних процесів переважно впливає на процеси формування осадових порід як морського, так і континентального походження. Незважаючи на те, що більшість осадових порід має різний склад порівняно з виверженими породами, особливо осадові породи, пов'язані з вугленакопиченням, усе ж осадові породи певною мірою і, головним чином, за складом рідкісних і розсіяних елементів відображають кристалічні породи, за рахунок яких вони утворилися. Навіть ґрунт, як кінцевий продукт руйнування і вивітрювання кристалічних порід, повністю залежить від складу материнських порід. Вуглеутворюючими породами на Уралі є основні та ультраосновні породи; на Північному Кавказі — дерівати андезито-дацитової магми - граніти; у межах Донецького кряжа — стародавні алювіальні породи.

Ґрунти, розвинені на кислих породах, збагачені літієм, рубідієм, цезієм, стронцієм, радієм та іншими елементами і відносно бідні нікелем, кобальтом, міддю, характерними для порід основної магми.

Ґрунти, сформовані за рахунок основних порід, звичайно збагачені нікелем, кобальтом і міддю. Так само, якщо не більше, склад порід вугленосної товщі і мінеральний склад залежить від мінералогічного складу порід областей зносу.

Важливий внесок у формування теоретичних засад геохімії металомістких вугілля належить роботам [8], які виділили декілька основних генетичних типів вугілля, збагачених критичними елементами:

-седиментаційно-органічний;

-вулканогенно-гідротермальний;

-гідротермально-метасоматичний;

- змішаний.

Загалом, способи виникнення хімічних елементів у вугіллі класифікуються на органічні, мінеральні та тісні органічні асоціації, останні включають ті, що адсорбовані на поверхні органічних речовин, розчинені в порових водах та містяться в дуже дрібнозернистих мінералах (субмікро- або нано-мінералах), укладені в органічну речовину вугілля або екрановані нею [4].

Для більшості мікроелементів їх неорганічні, тобто мінеральні, асоціації у вугіллі добре відомі. Елементи з неорганічною спорідненістю у вугіллі в основному поділяються на три групи: халькофіли (Cu, Zn, Ga, Ge, Pb, As, Sb), літофіли (Be, Ba, Ce, Hf, Sr, La, Zr, Mo, U) та сидерофіли (S, C , Cr, V).

Багато мінералів були ідентифіковані як носії певних мікроелементів. Наприклад, сульфіди заліза, включаючи пірит та сфалерит, вважаються мінералами-господарями As, Cd, Co, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Ti, W та Zn; карбонати, такі як кальцит та доломіт, зазвичай містять Ca, Co та Mn; сульфати, головним чином гіпс, є носіями Ca та Ba.

Глинисті мінерали та польові шпати, такі як каолініт та монтморилоніт, можуть бути джерелами до десятків мікроелементів, тобто Al, Ba, Bi, Cr, Cs, Cu, Ga, K, Li, Mg, Na, Ni, P, Pb, Rb, Sn, Sr, Ta, Th, Ti, U, V, Y та REY [13].

Однак детальні знання про взаємозв'язки між мікроелементами та органічною речовиною у вугіллі є відносно обмеженими. Про наявність мікроелементів у вугіллі часто

роблять висновки з непрямих методів, включаючи аналіз коефіцієнтів кореляції, фракціонування за густиною та послідовні процедури хімічної екстракції.

Хоча деякі органічні функціональні групи, головним чином карбонова кислота, фенольний гідроксил та інші донори полярних лігандів, вважаються такими, що зв'язують мікроелементи у вугіллі, прямих доказів недостатньо та важко отримати.

Надаються порівнюючі непрямі та прямі методи, що використовуються для дослідження способів появи мікроелементів у вугіллі, зосереджуючись на зв'язку мікроелементів з органічною речовиною.

Ті мікроелементи з сильним органічним зв'язком ідентифіковані та детально описані; до них належать Ge, U, Ga, REY, Be, B, As, Se, Cl, Br та W.

Інші мікроелементи, слабо пов'язані з органічною речовиною у вугіллі, також детально описані в порядку їх груп періодичної таблиці. Нарешті, обговорюється вплив марки вугілля на взаємозв'язок мікроелементів з органічною речовиною, і пропонується властивий геохімічний закон, тобто періодичний закон елементів, для регулювання цього взаємозв'язку.

Хоча РЗЕ у вугіллі переважно мають мінеральні асоціації, важкі РЗЕ зазвичай мають більшу органічну спорідненість, ніж легкі РЗЕ.

Германій у вугіллі низького рангу, особливо у родовищах Ge, що містять вугілля, представлений переважно органічною асоціацією.

Органічна асоціація урану є основним способом поширення не лише у вугіллі низького, але й високого рангу.

Органічно пов'язана ртуть зазвичай зустрічається у вугіллі з низьким вмістом сірки, з різними пропорціями від кількох до десятків відсотків до 100% від загальної кількості Hg у вугіллі з різних родовищ.

Підвищений вміст миш'яку та ртуті як сингенетичного, так і епігенетичного походження може зустрічатися як органічна асоціація у вугіллі.

Хоча асоціації немінеральних елементів у вугіллі були широко досліджені, деякі питання потребують подальшого дослідження для повнішої оцінки способів виникнення та спорідненості немінеральних елементів у вугіллі: (1) джерела немінеральних елементів у вугіллі низького рангу (зокрема Ca, Mg, Fe, Al, Na та Ti); (2) механізм включення немінеральних елементів у їхніх носіях; (3) конкретне положення та/або структура носія немінеральних елементів у вугіллі; та (4) доля немінеральних елементів разом із підвищенням рангу вугілля [4].

Елементи з органічними та тісно пов'язаними органічними асоціаціями у вугіллі є важливими з точки зору використання вугілля, особливо для лігнітів та суббітумінозного вугілля, де немінеральні елементи можуть становити значну частину мінеральної речовини [4].

Способи виникнення немінеральних елементів у вугіллі також важливі для кращого розуміння вуглеутворення (від відкладення торфу до діагенезу та метаморфізму вуглефікації).

Немінеральні елементи, пов'язані з органічною речовиною у вугіллі вищого рангу, також не є рідкістю (наприклад, уран у бітумінозному вугіллі з низьким вмістом летких порід в антрациті).

Мінеральна речовина у вугіллі включає (рис. 2): (1) окремі кристалічні мінерали, (2) некристалічні мінералоїди, (3) елементи, розчинені у порових водах вугілля, та (4) елементи (за винятком C, H, N, S та O), певним чином пов'язані з органічною речовиною).

Перші два випадки, тобто (1) та (2), є безперечними та називаються «мінеральною асоціацією» для елементів, що в них містяться.

Розуміння органічних, мінеральних та тісних органічних асоціацій елементів важливе не лише тому, що немінеральні елементи та, меншою мірою, елементи, пов'язані з дрібнозернистими мінералами, відіграють значну роль у впливі на використання вугілля,

але й тому, що такі способи виникнення елементів надають корисну геохімічну інформацію про вуглеутворення та еволюцію вугленосних басейнів. За деякими винятками (таких як Cd, Nb, Ta, Zr та Hf), більшість елементів, що визначаються у вугіллі, особливо у вугіллі низького рангу, мають різний ступінь органічної асоціації.

Для визначення способів появи немінеральних елементів у вугіллі було застосовано низку методів, таких як статистика, розділення за щільністю та розміром, методи селективного вилуговування, прямі мікроаналізи in situ та різні хімічні дослідження.

Кожен метод має свої обмеження, тому для таких досліджень дуже доцільно використовувати інтегровані аналітичні процедури з використанням вищезазначених методів.

Як один з критичних елементів, Ge являє собою найуспішніший приклад комерційного видобутку з вугілля протягом понад 50 років.

У всіх літературних джерелах показано, що Ge у вугільних родовищах переважно зустрічається в органічній речовині. Наприклад, Wei та ін. (2018) нещодавно використали методи електронного мікрозондування, щоб показати, що Ge зустрічається виключно в мацералах, і жодних мінералів, що містять Ge, у високогерметичному вугіллі Вулантуга та Лінцан не було виявлено.

Концентрація Ge у трьох родовищах значно підвищена у перерахунку на вугілля, коливаючись від сотень до тисяч ppm), що надзвичайно перевищує середню концентрацію Ge у 2,0 ppm для низькоранких вугілля світу).

Органічно пов'язаний Ge у вугіллі значною мірою перетворюється під час горіння на оксиди Ge, і меншою мірою на елементарну речовину Ge у багатому на Ge летючому попелі), з якого Ge легко та комерційно видобувається.

Використовуючи рентгенівську абсорбційну структуру ближче до краю (XANES) та розширену рентгенівську абсорбційну тонку структуру (EXAFS), показали, що Ge у вугільних родовищах Ліньцан та Вулантуга транспортувався в гідротермальних розчинах, що вводилися в торф, переважно у вигляді тетраедричного комплексу $Ge(OH)_4$, але фіксувався у чотиривалентному стані окиснення та у спотвореній октаедричній координації з киснем.

Елементи, розчинені у поровій воді та адсорбовані на внутрішніх поверхнях мікропор в органічних компонентах вугілля, особливо в вугіллі нижчого рангу, тісно пов'язані з органічною речовиною; вони можуть брати участь у процесах іонного обміну, що, у свою чергу, впливає на загальний хімічний склад мацералів; однак вони також можуть кристалізуватися під час підвищення рангу вугілля або під час сушіння чи окислення вугілля, або під час підготовки до аналізу, або як частина процесів утилізації, і таким чином призводити до утворення додаткових кристалічних мінеральних компонентів.

Концентрація W у вугільних родовищах Ліньцан та Вулантуга також підвищена в рудних родовищах Ge і, як і у випадку з Ge, транспортувався у вигляді тетраедричного іона вольфрамату, але, найімовірніше, поглинався шляхом утворення 6-координованого металоорганічного виду.

В роботах китайських дослідників [14, 15] розглядалися способи появи Sb та Ge у крейдяному високогерметичному вугіллі в Улантузі, Внутрішня Монголія, Китай, яке було оброблено до та після HCl-HF, і виявили, що обидва елементи, можливо, мають органічну асоціацію. Вони охарактеризували зв'язки між фракціями щільності (мацеральними концентратами) та мікроелементами за допомогою мікронізації та центрифугування з градієнтом щільності. При цьому було встановлено, що ряд мікроелементів (Ge, W, As та Sb у вугіллі Улантуга; Ge, W, As, Sb, Be, U, Nb та REE у вугіллі Ліньцан) мають різний ступінь органічної спорідненості як кислоточутливі способи появи, тобто слабо зв'язані з органічною речовиною.

Лише кілька досліджень детальніше розкрили кількість та розподіл Ge у різних мацералах припустили, що Ge у родовищі Ліньцан переважно міститься в гумініті, зокрема, корпогумініті, що не дивно, оскільки гумініт у цьому родовищі домінує (>90%).

На противагу цьому, багате на Ge вугілля Вулантуга містить трохи більше інертиніту (в середньому 52,5%), ніж гумініту (в середньому 46,8%), але концентрація Ge все ще позитивно корелює з вмістом гумініту.

Інші китайські дослідники також свого часу займалися питаннями збагачення вугілля германієм, при цьому було встановлено, що даний процес мати різні джерела.

Так, Чжуан та ін. (1998) пояснювали високу концентрацію германію в родовищі германію Ліньцан сингенетичною адсорбцією та комплексоутворенням гуміновими кислотами.

Германій походив переважно з гідротермальної рідини, що надходила в торф'яне болото з циркуляції через системи розломів багатого на германій граніту в фундаменті осадового басейну.

Ду та ін. (2009) пояснювали високу аномалію германію в родовищі германію Вулантуга гідротермальними флюїдами, що циркулювали через системи розломів та пористі вулканічні породи.

Багаті на германій гідротермальні флюїди контактували з органічною речовиною у вугіллі, яка захоплювала та адсорбувала германій протягом діагенетичного періоду.

Гідротермальна та вулканічна активність була причиною дуже високого вмісту германію в різних породах вугілля з Болгарії та Росії. Таким чином, можливе як сингенетичне, так і діагенетичне захоплення Ge у вугіллі.

На цей час германій промислово видобувається як сировина з трьох окремих родовищ германію, що містять вугілля: Ліньцан (провінція Юньнань, Китай), Улантуга (Внутрішня Монголія, Китай) та Спецуглі (Примор'я, Далекий Схід Росії); разом вони становлять понад 50% від загального промислового виробництва германію у світі.

Поширеність, походження та спосіб появи Ge у вугіллі з високим вмістом Ge, а також методи вилучення Ge із вугільної золи, були широко досліджені протягом останніх кількох десятиліть.

Хімічний склад золи, що використовується в повітрі, з заводів з вилучення германію в Ліньцані, Вулантузі та Спецузулі переважно контролюється концентрацією елементів та способами їх появи у вугіллі, що подається.

Окрім елементів з високим вмістом, включаючи Ge, Ga, W, Sn та Bi, летюча зола з трьох заводів з вилучення германію значно збагачена низкою токсичних елементів, включаючи Hg, As, Be, F, Cs, Sb, Pb, Tl та Zn; цим елементам слід приділяти значну увагу [6].

Родовище германієвого вугілля Імінь є третім за величиною родовищем такого вугілля, відкритим у Китаї, одразу після родовища германієвого вугілля Ліньцан у вугільному басейні Бангмай (провінція Юньнань) та родовища германієвого вугілля Улантуга у вугільному басейні Шенлі (Внутрішня Монголія).

Порівняно із звичайним китайським та світовим вугіллям, вугілля Імінь значно збагачене Ge (43 мг/кг), As (155 мг/кг) та W (9,84 мг/кг) і незначно збагачене Pb (22 мг/кг) та Hg (0,24 мг/кг).

Більшість елементів (наприклад, Al, K, Sc, Ti, V, Cu, Ga, Sn, Th та REE) у досліджуваному вугіллі мають алюмосилікатну спорідненість, що випливає з їхньої очевидної позитивної кореляції з виходом Al та золи.

Високі коефіцієнти кореляції As та Hg з Fe та S вказують на спорідненість цих елементів до сульфідів у вугіллі Імінь.

Германій, B, Mo та W у досліджуваному вугіллі демонструють органічну спорідненість та часткову спорідненість до сірки, що випливає з їх негативної кореляції з Al та позитивної кореляції з S відповідно.

Попередня та можлива модель збагачення Ge у германієвому вугільному родовищі Імінь полягала в тому, що Ge переносився гідротермальними флюїдами, а потім ці флюїди включалися у воду, що існує у верхніх пористих конгломератах, та просочувалися у верхній частині вугільного пласта, де Ge захоплювався органічною речовиною та, нарешті, збагачувався на ранній діагенетичній стадії (гуміфікація-гелефікація) [14].

Розроблювана потужність рудного пласта, багатого на германій, приблизно відповідає потужності вугільних пластів, що містять германій, з максимальним значенням 9,8 м.

Латеральний розподіл концентрації германію у вугільному районі Вумучан має віялоподібну тенденцію, подібну до розподілу в родовищі германію Вулантуга.

Германій переважно збагачений на межі району, а середня концентрація германію зменшується від межі до центру району.

За даними Лю та Сюй (1992), максимальна концентрація германію у вугіллі гірничодобувного району Вумучан становить 450 мг/кг; крім того, концентрація арсену також дуже висока, з максимальним значенням 768 мг/кг.

Вертикально, концентрація германію зменшується вниз зі збільшенням рангу вугілля, а збагачення германієм у досліджуваній області відбувається лише у вугіллі низького рангу.

У зонах термічних аномалій вторгнення кислих субвулканітів призвело до утворення високомаркового вугілля (малолеткого бітумінозного) у нижній частині вугленосних пластів; ці пласти збіднені Ge через вилучення Ge гідротермальними флюїдами.

Вугілля низького рангу (суббітумінозне) у верхній частині вугленосних пластів збагачене Ge завдяки адсорбції Ge органічною речовиною з висхідного гідротермального розчину.

Збагачення вугілля германієм залежало не лише від марки вугілля, але й від вилуговування ґрунтовими водами та вмісту органічної речовини у вугіллі [15].

Застосовуючи мегапіксельну синхротронну рентгенівську флуоресценцію (MSXRF) у поєднанні з розширеною тонкою структурою рентгенівського поглинання (EXAFS) та рентгенівською абсорбційною структурою ближнього краю (XANES), досліджували спосіб виникнення Ge у вугіллі, багатому на германій, та виявили, що Ge має чотиривалентний (4+) стан окиснення та октаедрично координований з лігандами O у мацералах.

Було доказано, що Ge може утворювати стабільні хелатні комплекси з органічними лігандами в розчинах, що містять органічні речовини, де першим сусідом навколо Ge є лише кисень, а присутність гумінових кислот, що мають карбонові та фенольні групи, може помітно впливати на видоутворення Ge у водному середовищі.

Їхні дослідження показали здатність зв'язувати O-вмісні функціональні групи з Ge та є показовими для характеристики механізму асоціації Ge у родовищах Вулантуга та Ліньцан, хоча метою їхнього дослідження не було вугілля.

Відповідно, видалення Ge за допомогою обробки HCl-HF для вугілля, багатого на Ge, ймовірно, було пов'язано зі зміною деяких O-вмісних груп у структурах вугілля [9].

Україна має значний потенціал щодо виявлення германієвмісного вугілля у межах Дніпровського та Закарпатського буровугільних басейнів, а також окремих ділянок Донбасу та Львівсько-Волинського кам’яновугільного басейну. Серед них Дніпровський буровугільний басейн вирізняється поєднанням сприятливих геологічних, гідрогеологічних та палеогеографічних умов для формування германієвого зруденіння.

Геохімічна характеристика германію у бурому вугіллі Дніпровського буровугільного басейну (ДББ) демонструє комплексний характер розподілу елемента, зумовлений одночасним впливом органічного, літогенного та гідрогеохімічного факторів.

Головними геохімічними факторами є:

- високий вміст Ge у докембрійських породах;
- активне вилуговування германію під час тривалого хімічного вивітрювання;

- надходження мікроелементів у торфоутворюючі системи;
- сорбція на гумінових кислотах, гідроксидах Fe та Al;
-накопичення у середовищах зниженої Eh.

Проведений комплексний аналіз геологічних, геохімічних і мінералогічних особливостей Дніпровського буровугільного басейну дозволив визначити ключові чинники формування германієносності та оцінити перспективи промислового вилучення германію.

Установлено, що германій у бурому вугіллі ДББ зосереджений переважно у формі органічних комплексів, а також частково пов’язаний із глинистими та кременистими мінералами. Вертикальна й латеральна мінливість концентрацій Ge є результатом поєднання седиментогенних, діагенетичних та гідротермальних процесів.

Геохімічний аналіз продемонстрував наявність аномальних концентрацій германію як у вугіллі, так і в зольних залишках, що робить басейн перспективним джерелом критичної мінеральної сировини для України.

Враховуючи, що основна маса германію у вугільному пласті пов’язана з геліфікованою речовиною і лише частково — з нерозкладеною деревиною, представленою у вигляді уламків лігнітів різного ступеня збереженості (щільні вітренізовані, пухкі, трухляві та щільні добре збережені невітренізовані), то в процесі окиснення ці два види носію по різному реагували на окиснювальні процеси.

Геліфікована речовина вугілля, що повністю пройшла процес розкладу рослинної речовини під впливом кисню вод, легко окиснюється. Окиснювальний процес у геліфікованій речовині вугілля насамперед руйнує карбоксильні групи, з якими хімічно пов’язаний германій.

Карбонатно-сульфатний кальцієво-натрієвий склад вод із лужною реакцією (pH 8) створює сприятливі умови для винесення германію з пластів вугілля у вигляді, очевидно, германатів лужних металів. Розкладена деревина меншою мірою піддається окисненню, а тому протягом тривалішого часу зберігає підвищений вміст германію. У міру окиснення розкладена деревина віддає германій у підземні води. Зазвичай навколо шматків лігніту навколишня дрібна фракція містить значно менше германію, ніж сам шматок.

Проведено вилуговування деревини дистильованою водою в лабораторних умовах. Для дослідів брали як шматки лігніту різної величини, так і зруйновану деревину у вигляді порошку.

Отримані дані вилуговування вказують на те, що з лігнітового порошку германій вилуговується у більших кількостях, ніж із неруйнованих шматків. Цей факт ще раз свідчить про руйнівну дію підземних вод щодо окиснення органічної речовини вугілля та винесення германію із вугільних пластів [12].

У вугіллі деяких закарпатських родовищ встановлені підвищені вмісти рідкісних і розсіяних елементів, причому концентрація деяких з них становить промисловий інтерес [16].

Якщо врахувати, що утворення переважної більшості родовищ та вуглепроявлень Закарпаття протікало одночасно з активною вулканічною діяльністю, то стає зрозумілим необхідність і актуальність зв'язку між вулканізмом і накопиченням у бурому вугіллі рідкісних та розсіяних елементів.

Проведені аналізи показують, що ряди рідкісних і розсіяних елементів характеризується переважно накопиченням в органічній фракції вугілля (германій, молібден, уран, берилій, бор, мідь, рідкі землі, миш'як, срібло, хром), інші ж пов'язані в основному з зольною частиною (титан, галій, літій, стронцій, барій). І, нарешті, третя група виявляє не стійку форм накопичення - у різних родовищах, отже, й у різних умовах, форма міграції цих елементів неоднакова, переважає то органічна, то мінеральна форма. Примітно, що в цю групу потрапляють переважно кольорові метали та елементи зі змінною валентністю, рухливість та умови осадження яких сильно залежать від фізико-хімічних умов середовища.

Виявлення закономірностей накопичення мікроелементів в органічних утвореннях під час вулканічної діяльності дозволить цілеспрямовано вести пошуки родовищ бурого вугілля (лігнітів) із підвищеними концентраціями рідкісних елементів.

Основні висновки наступні:

- у бурому вугіллі Закарпаття були зафіксовані аномально високі концентрації германію, ґалію, лантану, ітрію, індію та інших рідкісних та рідкоземельних елементів;
- генезис рідкіснометального збагачення може бути пов'язаний із вулканічною та гідротермальною активністю;
- дослідження геохімії бурого вугілля свідчать про суттєвий вплив локальних тектонічних структур [16].

Геотектонічні чинники Львівсько-Волинського басейну контролюють низхідні та висхідні рухи, потужність і просторове поширення вугленосних товщ, розвиток розломів, надходження гідротермальних розчинів і зміну шляхів міграції підземних вод [17]. Розломи можуть бути каналами надходження металовмісних флюїдів (рис. 3).

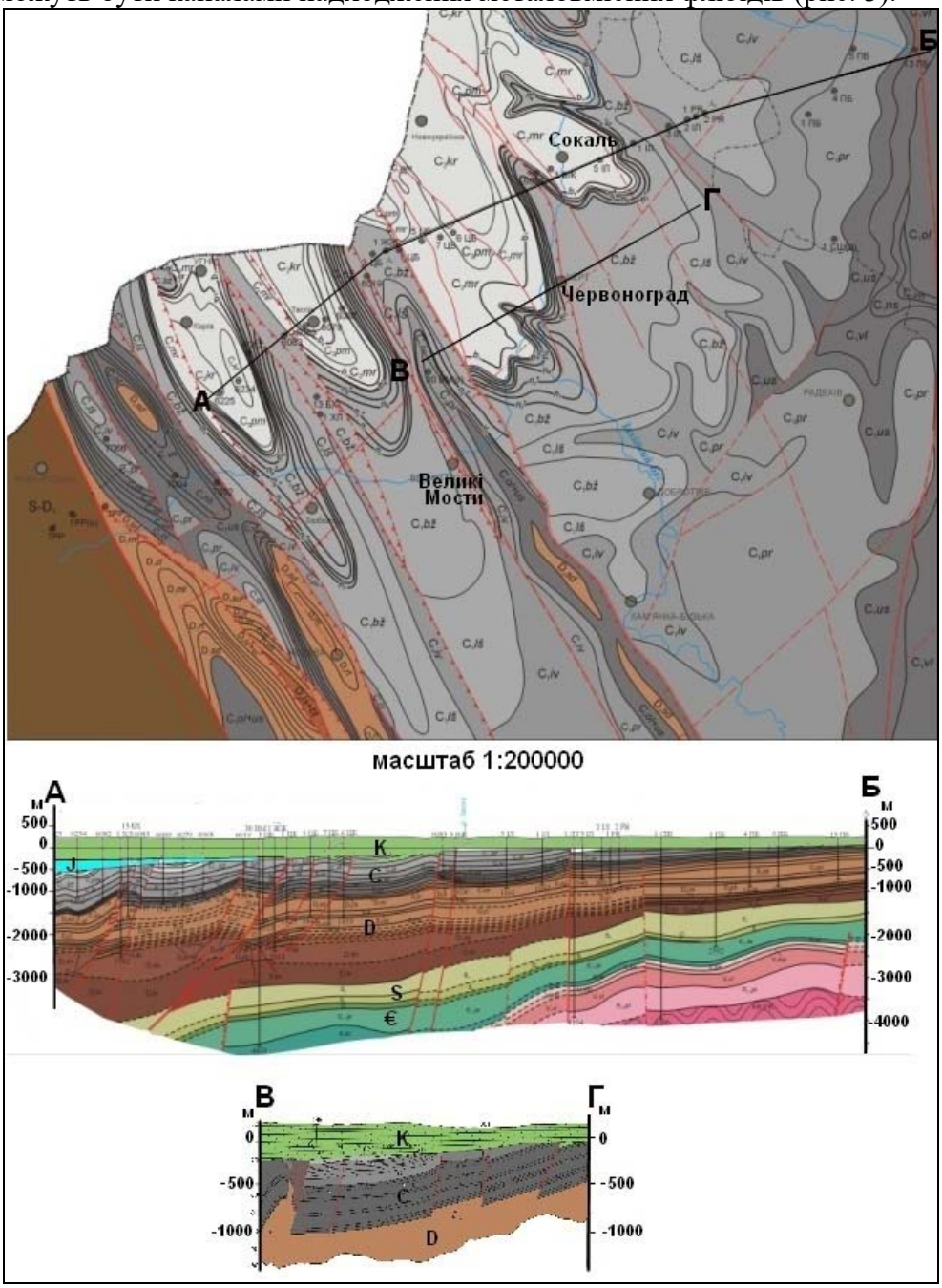


Рис. 3. Розломи та тектонічні порушення на геологічній карті домезозойських відкладів і геологічних розрізах південної частини Львівсько-Волинського басейну в межах Шептицького (Червоноградського) гірничо-промислового району [17]

Висновки:

Глобальний ринок рідкісноземельних елементів проходить етап стратегічної трансформації та дедалі більше визначає геоекономічне лідерство держав.

Доступ до критично важливих мінералів сьогодні формує конкурентоспроможність економік, оборонний потенціал держав і їх участь у глобальному енергетичному переході.

На сучасному етапі розвитку критичної мінеральної сировини, коли запаси традиційних джерел рідкісних та рідкісноземельних хімічних елементів постійно зменшуються, питання пошуку нетрадиційних джерел набуває особливої актуальності.

Одним з таких джерел, можуть бути родовища вугілля.

Проаналізовані дані основних чинників формування зруденінь рідкісних, розсіяних та рідкісноземельних хімічних елементів у родовищах вугілля вказують на те, що рудоносне вугілля є в багатьох вугільних басейнах.

Утворення руди у вугленосних структурах може відбуватися під час накопичення торфу, під час діагенезу органічної речовини або шляхом епігенезу.

Різні метали надходять до осадових басейнів у вигляді мінералів, що транспортуються водою та вітром, або у вигляді іонних форм у поверхневих водах, а також у низхідних та висхідних підземних водах, і можуть бути включені до складу торфу або вугілля.

Способи появи металів у збагаченому вугіллі різноманітні.

Дані, представлені в цій статті, свідчать про те, що вугілля, яке вміщує зони зруденінь рідкісних, розсіяних та рідкісноземельних хімічних елементів, слід розглядати як перспективне для економічного вилучення побічних продуктів під час видобутку та спалювання вугілля.

References

1. Seredin, V.V., Dai, S., Sun, Y. and Chekryzhov, I.Y. (2013) ‘Coal deposits as promising sources of rare metals for alternative power and energy-efficient technologies’, Applied Geochemistry, 31, pp. 1–11. https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2013.01.009.

2. Dai, S. and Finkelman, R.B. (2018) ‘Coal as a promising source of critical elements: Progress and future prospects’, International Journal of Coal Geology, 186, pp. 155–164. https://doi.org/10.1016/j.coal.2017.06.005.

3. Hirschman, E.C. (2023) ‘Creating sustainable climate change havens for migrating populations in the United States and other global sites’, Social Sciences, 12(12), 663. https://doi.org/10.3390/socsci12120663

4. Dai, S., Hower, J.C., Finkelman, R.B., Graham, I.T., French, D., Ward, C.R., Eskenazy, G., Wei, Q. and Zhao, L. (2020) ‘Organic associations of non-mineral elements in coal: A review’, International Journal of Coal Geology, 218, 103347. https://doi.org/10.1016/j.coal.2019.103347.

5. Goodenough, K.M., Wall, F. and Merriman, D. (2018) ‘The Rare Earth Elements: Demand, Global Resources, and Challenges for Resourcing Future Generations’, *Natural Resources Research*, 27(2), pp. 201–216. https://doi.org/10.1007/s11053-017-9336-5.

6. Dai, S., Seredin, V.V., Ward, C.R., Jiang, J., Hower, J.C., Song, X., Jiang, Y., Wang, X., Gornostaeva, T., Li, X., Liu, H., Zhao, L. and Zhao, C. (2014) ‘Composition and modes of occurrence of minerals and elements in coal combustion products derived from high-Ge coals’, International Journal of Coal Geology, 121, pp. 79–97. https://doi.org/10.1016/j.coal.2013.11.004.

7. Dai, J., Li, Z., Xu, D., Deng, T., Zhao, L., Zhang, X., Wang, S., Zhang, J., Kong, L. and Shang, P. (2021) ‘Coal-hosted critical metal deposits: A review’, Geotectonica et Metallogenia, 45(5), pp. 963–982. https://doi.org/10.16539/j.ddgzyckx.2021.05.008

8. Seredin, V.V. and Finkelman, R.B. (2008) ‘Metalliferous coals: A review of the main genetic and geochemical types’, International Journal of Coal Geology, 76(4), pp. 253–289. https://doi.org/10.1016/j.coal.2008.07.016.

9. Wei, Q., Cui, C. and Dai, S. (2020) ‘Organic-association of Ge in the coal-hosted ore deposits: An experimental and theoretical approach’, Ore Geology Reviews, 117, 103291. https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2019.103291.

10. Scanlon, B.R., Reedy, R.C., Elliott, B.A., Hower, J.C., Kyle, J.R., Locmelis, M., Theaker, N. and Warwick, P.D. (2026) ‘Rare earth element potential in coal and coal ash in the U.S. Gulf Coast’, International Journal of Coal Science & Technology, 13, 28. https://doi.org/10.1007/s40789-026-00872-y.

11. Massari, S. and Ruberti, M. (2013) ‘Rare earth elements as critical raw materials: Focus on international markets and future strategies’, Resources Policy, 38(1), pp. 36–43. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2012.07.001.

12. Украинский научно-исследовательский геологоразведочный институт УкрНИГРИ (Днепропетровская экспедиция). Отчет по теме 27-Д «Изучение содержания германия и других редких элементов в бурых углях Днепровского бассейна». Днепропетровск 1962 г. 318 стр.

13. Qin, S., Lu, Q., Li, Y., Wang, J., Zhao, Q. and Gao, K. (2018) ‘Relationships between trace elements and organic matter in coals’, Journal of Geochemical Exploration, 188, pp. 101–110. https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2018.01.015.

14. Bao, Z. and Zhao, Z. (2008) ‘Geochemistry of mineralization with exchangeable REY in the weathering crusts of granitic rocks in South China’, Ore Geology Reviews, 33(3–4), pp. 519–535. https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2007.03.005.

15. Li, J., Zhuang, X., Querol, X., Font, O., Izquierdo, M. and Wang, Z. (2014) ‘New data on mineralogy and geochemistry of high-Ge coals in the Yimin coalfield, Inner Mongolia, China’, International Journal of Coal Geology, 125, pp. 10–21. https://doi.org/10.1016/j.coal.2014.01.006.

16. Бурлуцький М., Литвинюк С. (2025) «Генезис та геохімічні особливості рідкіснометалевої мінералізації у бурому вугіллі Закарпаття», Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія, 2(109). https://doi.org/10.17721/1728-2713.109.10.

17. Бик С.І. Еколого-геохімічні особливості відходів вугілля Львівсько-Волинського басейну/С.І. Бик, В.І.Узіюк // Уголь Украины.– 2000.– №7.– С. 22-23.

УДК УДК 622.7:553.495

ТЕХНОЛОГІЧНА ТРАНСФОРМАЦІЯ ВИЛУЧЕННЯ КРИТИЧНИХ КОМПОНЕНТІВ: ВІД ЛАБОРАТОРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ Ta-Nb РУД ДО ПІЛОТНОЇ ФАБРИКИ ПРОЄКТУ BLOOM

***Курило М.М.*[1]**, *д. геол. н., доцент, marikurylo@meta.ua;*
***Фалькович О.Л.*[2]**, *к. геол. н, falkovicholeksii@gmail.com,*
1 – Київський національний університет імені Тараса Шевченка, ННІ Інститут геології, Київ, Україна,
2 – ТОВ «Геологічна сервісна компанія ГСК», Київ, Україна

Розглянуто послідовність технологічної трансформації процесів вилучення критичних компонентів на прикладі тантал-ніобієвих руд у межах європейського проєкту BLOOM. Основну увагу приділено переходу від лабораторного вивчення мінерального складу, характеру розкриття мінералів і технологічних властивостей руд до створення інтегрованої системи оперативного аналізу, цифрового керування технологічними процесами та пілотних випробувань. Охарактеризовано значення українського пілотного майданчика Мостове, який використовується для дослідження тантал-ніобієвих руд та подальшої перевірки технологічних рішень на реальних пробах. Показано, що ключовим елементом технологічного масштабування є поєднання даних про мінеральний склад і ступінь розкриття мінералів із параметрами подрібнення, гравітаційного та флотаційного збагачення. Контейнеризована пілотна установка проєкту BLOOM формує проміжну ланку між лабораторними дослідженнями та майбутнім промисловим упровадженням. Запропонований підхід може забезпечити підвищення вилучення критичних компонентів, адаптацію технологічних схем до мінливості складу руд та покращення техніко-економічних характеристик освоєння складних і низьковмісних родовищ.

Ключові слова: критична мінеральна сировина, тантал, ніобій, збагачення, технологічне масштабування, пілотні випробування.

TECHNOLOGICAL TRANSFORMATION OF CRITICAL COMPONENT RECOVERY: FROM LABORATORY STUDIES OF TANTALUM-NIOBIUM ORES TO THE BLOOM PROJECT PILOT PLANT

***Kurylo M.*[1]**, *Dr. Sci. (Geol.), Assoc. Prof., marikurylo@meta.ua;*
***Falkovych O.*[2]**, *PhD (Geol.), falkovicholeksii@gmail.com,*
1 – Taras Shevchenko National University of Kyiv, Institute of Geology, Kyiv, Ukraine;
2 – Geological Service Company GSC LLC, Kyiv, Ukraine

The technological transformation of critical component recovery is considered using tantalum-niobium ores investigated within the European BLOOM project as an example. Particular attention is paid to the transition from laboratory mineralogical and technological studies to an integrated system of operational mineral analysis, digital process control and pilot-scale testing. The role of the Ukrainian Mostove pilot site is considered with regard to the characterisation of tantalum-niobium ores and further validation of technological solutions using representative samples. The study demonstrates that technological scale-up requires the integration of mineral composition and mineral liberation data with grinding, gravity separation and flotation parameters. The containerised pilot plant developed within BLOOM represents an intermediate technological stage between laboratory research and future industrial implementation. Such an approach provides opportunities to increase critical component recovery, adapt processing flowsheets to ore variability and improve the technical and economic performance of complex and low-grade mineral deposits.

Keywords: critical raw materials, tantalum, niobium, mineral processing, technological scale-up, pilot testing.

Вступ. Стабільне забезпечення критичною мінеральною сировиною є одним із визначальних чинників розвитку сучасних високотехнологічних галузей, відновлюваної енергетики, електроніки, транспортних систем та оборонної промисловості. Поряд із розширенням мінерально-сировинної бази важливим напрямом стає підвищення ефективності вилучення критичних компонентів із уже відомих, у тому числі низьковмісних і технологічно складних, рудних об’єктів.

Тантал і ніобій належать до групи металів, для яких ефективність промислового освоєння значною мірою визначається не лише вмістом корисного компонента, а передусім мінеральною формою його знаходження, розміром зерен, особливостями взаємного зростання мінералів та

ступенем їх розкриття під час подрібнення. Пряме перенесення лабораторних показників вилучення на промисловий масштаб часто супроводжується значною невизначеністю.

Одним із сучасних напрямів подолання такої невизначеності є поєднання поглибленої мінералого-технологічної характеристики руд, автоматизованого аналізу технологічних потоків, цифрового керування процесами та послідовного масштабування технологічних рішень.

Саме такий підхід реалізується в проєкті BLOOM, що виконується в межах програми Європейського Союзу «Горизонт Європа». Проєкт реалізується у 2024–2028 рр. та об'єднує 14 партнерів із шести країн. Його основною метою є створення нових технологічних рішень для підвищення ефективності видобування та перероблення критичної мінеральної сировини, зниження витрат і залучення до освоєння низьковмісних ресурсів (*Press release, 2026)*.

Мета дослідження полягає у визначенні основних етапів технологічного переходу від лабораторних досліджень тантал-ніобієвих руд до пілотного випробування інтегрованої технологічної схеми в межах проєкту BLOOM та оцінці ролі такого масштабування у зменшенні технологічної невизначеності.

Основний матеріал.

Традиційна схема розроблення технології перероблення тантал-ніобієвих руд включає визначення хімічного та мінерального складу, вивчення текстурно-структурних характеристик, підготовку представницьких проб, подрібнення, проведення лабораторних дослідів зі збагачення та визначення технологічних показників отриманих продуктів.

Водночас однаковий валовий вміст танталу або ніобію в різних рудах не означає однакової технологічної поведінки. Значення мають форма знаходження металів, характер зростків, гранулометричні характеристики та ступінь розкриття цінних мінералів. Саме тому в сучасних технологічних дослідженнях дедалі важливішу роль відіграє кількісний аналіз розкриття мінералів.

У межах першого етапу проєкту BLOOM виконано комплексну мінералогічну характеристику та лабораторні дослідження представницьких мідно-цинкових і тантал-ніобієвих руд. Вивчалася поведінка мінералів під час подрібнення та флотаційного розділення, що створює основу для оптимізації технологічних схем (*Pilot sites, 2025)*.

Таким чином, технологічна оцінка формується як послідовний ланцюг: вміст компонентів - мінеральна форма - характер зростків - ступінь розкриття - технологічна поведінка - вилучення компонента. Такий підхід має особливе значення для тантал-ніобієвих руд, для яких досягнення необхідного ступеня розкриття може потребувати значного подрібнення, тоді як надмірне подрібнення, своєю чергою, здатне знижувати ефективність наступних операцій збагачення.

Наступним етапом технологічної трансформації є перехід від лабораторної характеристики окремої проби до оперативного аналізу матеріалу безпосередньо в технологічному процесі.

У проєкті BLOOM передбачається створення модульної системи аналізу мінеральної сировини, яка повинна забезпечувати визначення мінерального складу, гранулометричних характеристик та ступеня розкриття мінералів для різних типів матеріалу. Система розрахована як на тверді геологічні проби, отримані під час буріння, так і на пульпу технологічних потоків. Передбачається, що результати аналізу можуть бути отримані впродовж короткого проміжку часу та використані для коригування параметрів технологічного процесу (*Press release, 2026)*.

Принципова відмінність такого підходу полягає в тому, що мінералогічна інформація перестає бути лише результатом лабораторного дослідження, виконаного до початку технологічних випробувань. Вона стає змінним технологічним параметром, який може використовуватися під час керування процесами подрібнення, гравітаційного розділення та флотації.

У загальному вигляді технологічна трансформація може бути представлена таким чином: 1) проба матеріалу/руди, 2) хімічна та мінералогічна характеристика, 3) визначення ступеня розкриття мінералів, 4) лабораторні технологічні випробування, 5) формування цифрової бази мінералогічних і технологічних даних, 6) оперативний аналіз технологічних потоків, 7) автоматизоване коригування режимів, 8) пілотні випробування, 9) промислове масштабування.

Важливою складовою проєкту є застосування алгоритмів штучного інтелекту для аналізу отриманих даних та оптимізації всього технологічного ланцюга. Передбачається не локальна оптимізація окремої операції, а узгодження параметрів різних стадій перероблення з урахуванням кінцевого вилучення корисних компонентів (*Press release, 2026)*. Це створює можливість переходу від фіксованої технологічної схеми до адаптивного керування, за якого параметри технологічного процесу можуть змінюватися залежно від фактичних властивостей руди.



Рис. 1. Технологічна трансформація вилучення критичних компонентів у проєкті BLOOM: від лабораторних досліджень тантал-ніобієвих руд до пілотних випробувань і промислового масштабування

Особливе значення для такого підходу має етап пілотних випробувань. За результатами перших 18 місяців реалізації BLOOM розроблено інженерну основу модульної системи аналізу, сформовано мінералогічну базу даних, архітектуру програмного забезпечення та інтерфейси, необхідні для інтеграції системи з технологічним обладнанням (*Pilot sites, 2025).*

Одночасно створюється контейнеризована пілотна установка, призначена для перевірки запропонованих рішень у технологічних умовах, максимально наближених до виробничих. Установка повинна поєднати сенсорний контроль, автоматизоване керування та оперативний аналіз технологічних показників.

Пілотна установка є не просто збільшеним аналогом лабораторної схеми. Її основне призначення полягає у перевірці всієї сукупності взаємопов'язаних технологічних рішень, серед яких:

- відповідність лабораторної мінералого-технологічної моделі поведінці значних обсягів руди;
- вплив ступеня подрібнення на розкриття мінералів;
- ефективність окремих операцій розділення;
- стабільність показників вилучення за зміни властивостей вихідної сировини;
- можливість оперативного контролю мінерального складу;
- ефективність автоматичного коригування технологічних параметрів;
- можливість подальшого масштабування до промислового рівня.

Українським пілотним об'єктом тантал-ніобієвого напряму проєкту BLOOM є проєкт Мостове. За офіційними матеріалами BLOOM, тантал-ніобієва мінералізація цього об'єкта пов'язана з гранітами. Попередні дослідження вказують на потенційну можливість підземного освоєння та отримання супутніх компонентів (*Taurus, 2025*). Завдання проєкту BLOOM для майданчика Мостове включають уточнення мінеральних характеристик руд, оптимізацію технологічних процесів і перевірку нових технологічних рішень на реальних пробах. Це дозволяє розглядати український майданчик не лише як джерело матеріалу для лабораторного тестування, а як повноцінний елемент процесу технологічної валідації.



Рис. 2. Контейнеризована пілотна установка проєкту BLOOM для випробування технологій аналізу та оптимізації перероблення критичної мінеральної сировини. Офіційний сайт проєкту BLOOM (Press release, 2026)

Іншим тантал-ніобієвим майданчиком проєкту є Блу-Рівер у Канаді. Використання двох геологічно різних об'єктів дає можливість оцінити відтворюваність запропонованої технології та її здатність адаптуватися до зміни мінерального складу й технологічних властивостей руд.

Наукова й практична новизна такого підходу полягає у перенесенні акценту з традиційного поняття «технологія для родовища» на поняття «адаптивна технологічна система». За такого підходу технологічна схема не розглядається як незмінна сукупність операцій із заздалегідь заданими параметрами. Вона формується як система, здатна реагувати на фактичні властивості руди.

Для складних рідкіснометалевих об'єктів це особливо важливо, оскільки геологічна неоднорідність безпосередньо переходить у технологічну мінливість. Відповідно, якість геологічної та мінералогічної моделі стає одним із факторів ефективності збагачення.

Інтеграція оперативних мінералогічних даних із технологічними й економічними показниками надалі також створює можливості для динамічного уточнення параметрів гірничого планування, меж економічно доцільного видобування та оцінки ефективності освоєння окремих блоків родовища (*Press release, 2026)*.

Таким чином, технологічне масштабування в межах BLOOM охоплює не лише перехід від малого обсягу проби до більшого. Воно передбачає одночасне масштабування обсягу матеріалу, системи вимірювань, управління процесом, цифрового аналізу даних та прийняття технологічних рішень.

Висновки. Технологічна трансформація вилучення танталу й ніобію в межах проєкту BLOOM демонструє перехід від традиційної послідовності лабораторних випробувань до інтегрованої системи керування технологічним процесом.

Основою цього переходу є кількісна характеристика мінерального складу й ступеня розкриття мінералів, результати лабораторних досліджень подрібнення та збагачення, формування цифрової бази даних і використання оперативної інформації для коригування технологічних режимів.

Контейнеризована пілотна установка є ключовим проміжним етапом між лабораторними дослідженнями та промисловим упровадженням, оскільки дозволяє оцінити не окрему технологічну операцію, а функціонування всієї інтегрованої системи.

Український пілотний майданчик Мостове забезпечує можливість перевірки розроблених технологічних рішень на реальних тантал-ніобієвих рудах та є важливим елементом переходу від

лабораторної характеристики мінеральної сировини до обґрунтування масштабованої технології її перероблення.

Запропонована в BLOOM модель може бути важливою для освоєння складних та низьковмісних родовищ критичної мінеральної сировини, де економічна ефективність значною мірою залежить від здатності технологічного процесу адаптуватися до природної мінливості руд.

Подяка. Дослідження виконано в межах проєкту BLOOM «Аналіз розкриття мінералів для оптимізації вилучення та перероблення критичної мінеральної сировини», що фінансується Європейським Союзом у межах програми «Горизонт Європа», грантова угода № 101177962.

Список використаних джерел:

BLOOM Project. *Pilot sites*. https://bloomproject.eu/pilot-sites/ BLOOM Project

BLOOM Project. (2026, September 14). *Press release: BLOOM reaches key milestone in developing smart technologies for more sustainable mineral processing*. https://bloomproject.eu/press-release-bloom-reaches-key-milestone-in-developing-smart-technologies-for-more-sustainable-mineral-processing/ BLOOM Project

Taurus Infinity LLC. *Taurus Infinity LLC - родовище Мостове*. https://taurusinfinity.com/uk/ Taurus Infinity

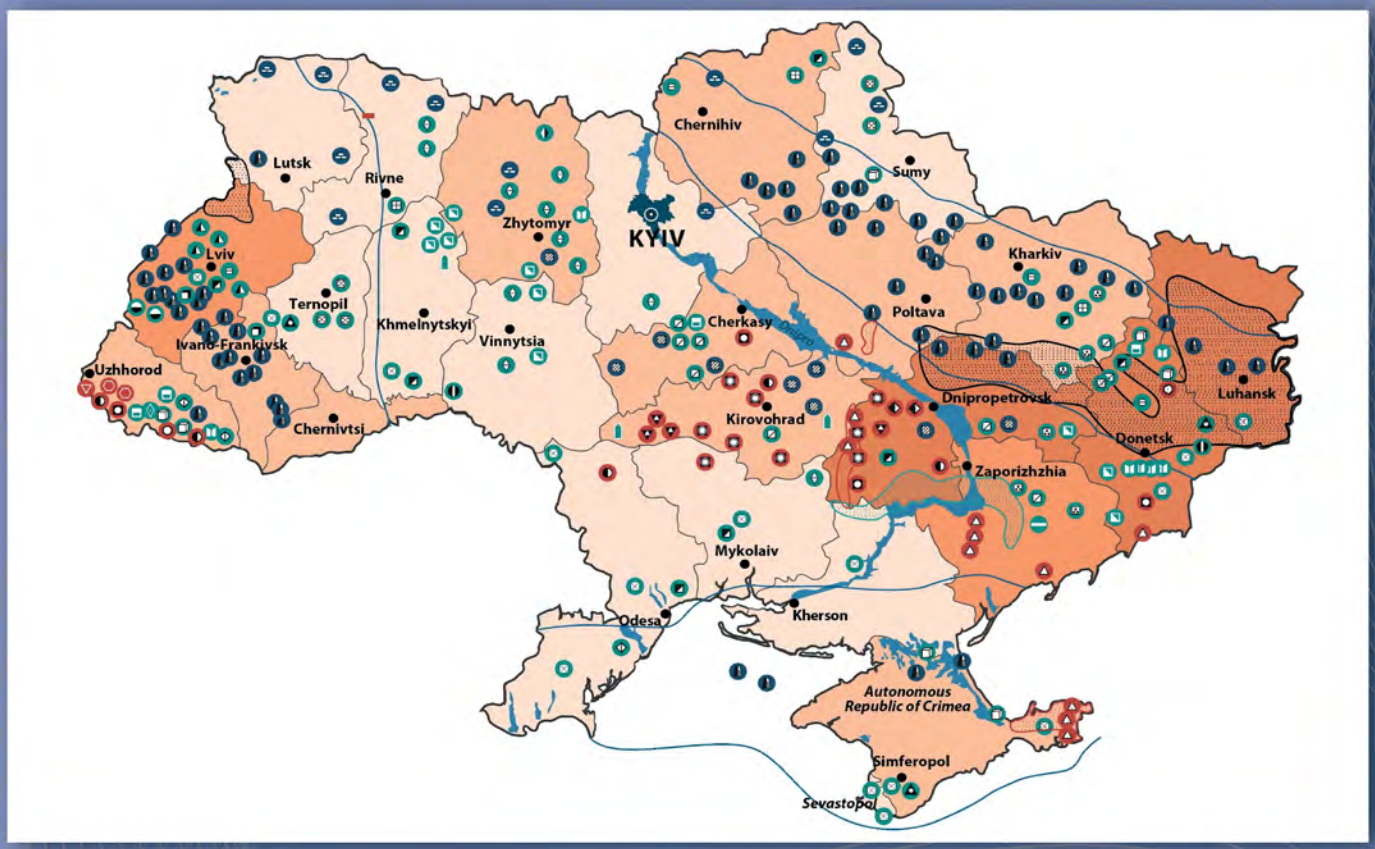
References

BLOOM Project (2025). *Pilot sites*. https://bloomproject.eu/pilot-sites/

BLOOM Project. (2026, September 14). *Press release: BLOOM reaches key milestone in developing smart technologies for more sustainable mineral processing*. https://bloomproject.eu/press-release-bloom-reaches-key-milestone-in-developing-smart-technologies-for-more-sustainable-mineral-processing/

Taurus Infinity LLC (2025). *Taurus Infinity LLC – Mostove deposit*. https://taurusinfinity.com/uk/

УПРАВЛІННЯ РЕСУРСАМИ КОРИСНИХ КОПАЛИН ДЛЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ



УДК 553.04

ГЕОЛОГО-ЕКОНОМІЧНИЙ АУДИТ ЗАПАСІВ/РЕСУРСІВ КОРИСНИХ КОПАЛИН УКРАЇНИ ЗА МІЖНАРОДНИМИ СТАНДАРТАМИ

Бобров О.[1], *д. геол.-мін. н., професор, albobrov@ukr.net;*
Гейченко М.[2], *к. геол. н., geich@ukr.net;*
Мєнасова А.[3], *к. геол. н., доцент, mangelina@ukr.net;*
Яськевич Т.[1], *к. геол. н., iaskevych@ukr.net;*
1 – Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України, Київ, Україна,
2 – ТОВ Укрлітійвидобування, Україна,
3 – ННІ «Інститут геології» КНУ ім. Тараса Шевченка,

Спекуляції в мас-медіа, що стосуються ресурсів деяких корисних копалин негативно впливають на безпекові аспекти економіки України. Крім того, не достатнє і нерегулярне фінансування галузі не дозволяє державі проводити вкрай необхідні види геологорозвідувальних робіт (ГРР), які є основою визначення ресурсного потенціалу надр. Для можливих інвесторів це ускладнює оцінку перспективи і економічної доцільності вкладання коштів у певні об'єкти. Також, існує необхідність переведення запасів/ресурсів у такі, що відповідають міжнародним кодам звітності. Нижче пропонуються, найбільш важливі з точки зору авторів, кроки, що спрямовані на синхронізацію дій органів виконавчої влади в певних напрямках.

Ключові слова: корисні копалини, геологічна галузь, запаси

GEOLOGICAL AND ECONOMIC AUDIT OF UKRAINE'S MINERAL RESERVES/RESOURCES ACCORDING TO INTERNATIONAL STANDARDS

Bobrov O.[1], *Dr. Sci. (Geol.&Miner.), Prof., albobrov@ukr.net;*
Heichenko M.[2], *PHD (Geol.), geich@ukr.net;*
Mienasova A.[3], *PHD (Geol.), Assoc. Prof., mangelina@ukr.net;*
Iaskevych T.[1], *PHD (Geol.), iaskevych@ukr.net;*
1 – M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine,
2 – "Ukrlithiummining" LLC, Ukraine,
3 – Institute of Geology Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

Media speculation regarding certain mineral resources negatively affects the security aspects of Ukraine's economy. Furthermore, irregular funding of the sector prevents the state from conducting necessary geological exploration activities, which serve as the foundation for determining the resource potential of the subsoil. For prospective investors, this complicates evaluating the prospects and economic viability of investing in specific targets. Additionally, there is a need to convert reserves and resources into those that comply with international reporting codes. Below are the steps, deemed most critical by the authors, aimed at synchronizing executive authorities' actions in key areas.

Keywords: mineral resources, geological sector, reserves

Вступ. Наявні оцінки вартості таких активів України як запаси корисних копалин (КК), що періодично з'являються у мас-медіа, нерідко є недостовірними, що призводить до омани не лише громадськості, але й зацікавлених промислових кіл. Спекуляції на цю тему напряму негативно впливають на безпекові аспекти економіки України. Окремі факти були висвітлені А. Василенко у 2024 р. на IX Міжнародній науково-практичній конференції «Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування» [1]. Мова йде про деякі об'єкти, які потрапляли до «Інвестиційного атласу», не зважаючи на те, що в результаті переоцінки Науковою радою з прогнозування ресурсів твердих корисних копалин перспективні ресурси (P_1 і P_2) не підтверджувались. Це були грубі помилки, але тут ми зупинимось на інших аспектах.

Неприпустимо низьке фінансування геологічної галузі за кошти державного бюджету або взагалі повна його відсутність протягом багатьох років не дозволяє державі проводити вкрай необхідні види геологорозвідувальних робіт (ГРР) як основу оцінки ресурсного потенціалу надр по видах корисних копалин: регіональні геологічні дослідження (РГД), пошукові роботи, науковий прогноз та супровід ГРР тощо. Відношення законодавчої та виконавчої влади України до цього питання, яке ми спостерігаємо протягом останніх багатьох років, є не просто недалекоглядним, але й шкідливим для відродження та зростання економіки країни.

Переважна більшість родовищ і рудопроявів рідкісних, рідкісноземельних, кольорових металів, рудних металічних КК виявлена в результаті крупномасштабних РГД – геологічної зйомки, глибинного геологічного картування, прогнозно-геологічних робіт та ін. На Держгеолкарті-200, яка створюється (крім окремих випадків) в результаті проведення ГДП-200, показані загальна геологічна ситуація, породні та рудні формації, закономірності розміщення КК, прояви магматизму та інших процесів, тектонічні особливості, гідрогеологічна характеристика та багато іншого. Це дає можливість потенційним надрокористувачам реально оцінювати перспективи і економічну доцільність вкладання коштів у певні об’єкти. Зупинення зазначених ГРР знижує інвестиційну привабливість українських надр.

Обговорення та перспективи. Розмови про необхідність переведення запасів/ресурсів у такі, що відповідають міжнародним кодам звітності ведуться постійно останніми роками, але натикаються на методичні бар’єри, коли підрахувати запаси та ресурси високих категорій за технічним стандартом, наприклад, NI 43-101 або JORC Code, неможливо. Адже зазначені кодекси (стандарти) не є інструкціями з підрахунку та розгляду/прийому запасів певних видів КК. Їх можна розглядати як опис процедури проведення ГРР на об’єктах, які по суті є вимогами до проведення і контролю якості робіт – від проектування і закладання свердловин, інших гірничих виробок, геологічної документації, опробування, пробопідготовки, лабораторних досліджень і до складання звітів, підрахунку ресурсів/запасів КК. Щось віддалено подібне намагається впроваджувати ДКЗ України у своїх інструкціях, методичних рекомендаціях і вказівках [6]. Потрібно зазначити, що при оцінці ресурсів/запасів за міжнародними стандартами обов’язковими є процедури забезпечення якості і контролю якості (QA/QC) щодо аналітичних досліджень, про що Б. Слободян доповідав на тій же конференції у 2024 р. [2]. По перспективних об’єктах і родовищах, виявлених за часів СРСР, практично не зберігся керновий матеріал і дублікати проб. Для того, щоб враховувати дані минулих ГРР необхідне застосування процедур QA/QC шляхом дублювання «історичних» свердловин [3]. За виконанням всіх процедур (в т. ч. QA/QC) при проведенні ГРР за згаданими кодексами на кожному об’єкті спостерігає уповноважена особа – competent person. Тобто, для отримання оцінки ресурсів/запасів КК необхідне дотримання вимог NI 43-101 [4], JORC [5] або інших подібних кодексів на всіх етапах ГРР. Звіти за цими стандартами обов'язково мають підписуватися фахівцем із відповідним досвідом та членством у професійній організації. Таким чином, просте переведення отриманих даних при роботах за вітчизняними інструктивно-методичними документами у ресурси/запаси, визначені зазначеними стандартами, є некоректним. Втім, навіть механічні маніпуляції із застосуванням міжнародних технічних стандартів для підрахунку запасів є меншим злом, аніж оперування стандартами запасів/ресурсів колишнього СРСР.

В контексті питань, що розглядаються, повинні бути скориговані кроки органів виконавчої влади з певних напрямків. Частково вони розглянуті у *Стратегії розвитку галузей промисловості на основі корисних копалин* [7], схваленої розпорядженням Кабінету Міністрів України від 27 травня 2026 р. № 569-р. Тут ми акцентуємо увагу на найбільш важливих з нашої точки зору питаннях.

1) Визначення потреб вітчизняної промисловості у мінеральній сировині за видами та геолого-промисловими типами.

Без розуміння того, в якій кількості та якості мінеральної сировини потрібні її ресурси для потреб промисловості та її споживачів (в т. ч. експортерів), ні промисловість, ні геологічна, ні, тим більше, гірничо-добувна галузі не зможуть повноцінно розвиватися.

2) Інвентаризація наявних активів мінерально-сировинного комплексу України в надрах.

Ця робота повинна бути проведена за участю фахових експертних середовищ світу (Асоціація геологічних служб Європи, Європейська Федерація геологів, Геологічна служба Великої Британії, Інститут геологів Ірландії, Рада іберійських гірничих інженерів, Фенноскандинська асоціація фахівців з металів та мінералів та ін.) за вимогами технічних стандартів сімейства CRIRSCO, внаслідок чого достовірність наших знань про власні надра (в тому числі за видами КК, не вигаданої їх вартості, областей використання) буде максимально наближена до реальності

Широке залучення до процесу підрахунку запасів наявних методик блочного моделювання в оболонках Micromine, K-Mine, Surpac Software International, Datamine, GEOVIA MineSched, GEOSTAT Software Inc., LYNX Geosystem Inc., AQUILA Mining Systems та ін. дозволить мінімізувати недоліки трансформації пострадянських систем підрахунку запасів та методів їх отримання, а також прискорити необхідні процедурні дії до прийнятних термінів.

3) Повне системне кадастрування родовищ КК, оцінка їх реальної вартості (вперше в історії незалежної України).

Процедура обліку родовищ за зрозумілим, обговореним в експертному середовищі сучасним алгоритмом та можливістю аудиту підрахункових операцій на будь-якій стадії процесу - за видами мінеральної сировини, за геолого-промисловими типами із врахуванням показників кондицій, морфології тіл, технології видобутку, переробки КК, їх ресурси, вартість продукції. При цьому важливими є питання капіталізації інформаційних потоків щодо кількості та якості КК за окремими видами мінеральної сировини, наприклад, через монетизацію активів золота у вивчених родовищах[1].

Висновки. В результаті це дозволить:

• Чітко розуміти реальну кількість і ступінь геологічної вивченості (розвіданості) родовищ, і не користуватись даними з «переможних» зведень галузевих ЦОВВ. Саме це буде нашим реальним активом, що дозволить приймати правильні управлінські рішення в ключових галузях промисловості.

• Вирішити проблему достовірності в оцінці запасів та ресурсів високих категорій.

• Щільність мережі свердловин, пробовідбору при опробуванні КК мають бути обґрунтованими в процесі ГРР та експлуатації родовища через аналіз результативності вивчення родовищ в довготривалому процесі (це і є реальний приклад наукового супроводження ГРР на завершальних стадіях освоєння родовищ).

• Також це дозволить кардинально змінити можливості фінансових займів із світових джерел під заставу запасів (ресурсів) високоліквідних видів корисних копалин, що ще знаходяться в надрах, КК в яких ще не видобуті.

Вважаємо важливою редукцію делегованих місцевим органам самоврядування прав при вирішенні питань видачі дозволів на користування надрами. Також потрібне врегулювання питань виділення земельних ділянок, об'єктивно необхідних для безпечного, повноцінного та раціонального виконання гірничих і розкривних робіт. Видобутку корисних копалин для потреб промисловості, економічного розвитку держави немає альтернативи і енергію спротиву

[1] Обчислені запаси золота на розвіданих родовищах такі спеціалізовані компанії як Quommodity токенізують криптовалютними операціями (Qgold, наприклад) та пізніше – монетизують.

громад потрібно переносити на зміцнення рівню контролю за охороною довкілля та здійсненню рекультиваційних заходів на рівні світових норм, включаючи розробку безпечних протоколів відновлення навколишнього природного середовища.

Список використаних джерел:

1. Василенко, А. (2024). Проблеми поповнення інвестиційного атласу надрокористувача достовірною інформацією щодо ресурсів металевих та неметалевих корисних копалин. Мат. IX Міжнародної науково-практичної конференції «Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування». Львів. С. 96-100.
2. Слободян, Б., Гейченко, М. (2024). Застосування процедури забезпечення якості і контролю якості (QA/QC) щодо аналітичних досліджень (на прикладі розвідки Полохівського родовища). Мат. IX Міжнародної науково-практичної конференції «Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування». Львів. С. 188-194.
3. Слободян, Б., Гейченко, М. (2024). Застосування процедури забезпечення якості і контролю якості (QA/QC) шляхом дублювання «історичних» свердловин (на прикладі розвідки Полохівського родовища). Мат. IX Міжнародної науково-практичної конференції «Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування». Львів. С. 182-188.
4. CIM Definition Standards for Mineral Resources & Mineral Reserves. (2014). https://mrmr.cim.org/media/1128/cim-definition-standards_2014.pdf
5. JORC. The JORC Code. (2012^{ed}). https://www.jorc.org/docs/JORC_code_2012.pdf
6. Нормативно-правова база ДКЗ. https://www.dkz.gov.ua/ua/diyalnist/normativno-pravova-baza
7. Стратегія розвитку галузей промисловості на основі корисних копалин та компонентів стратегічного та критичного значення на період до 2056 року та затвердження операційного плану з її реалізації у 2026—2028 рр. Розпорядження КМ України від 27 травня 2026 року №569-р. Київ. www.kmu.gov.ua/npas/pro-skhvalennia-stratehii-rozvytku-haluzei-promyslovosti-na-osnovi-korysnykh-kopalyn-ta-s569270526

УДК 553.98:550.8

ОСОБЛИВОСТІ ОЦІНКИ НОВИХ ПЕРСПЕКТИВНИХ ПЛОЩ З ВРАХУВАННЯМ ДАНИХ КАРТИ ФОНДУ СТРУКТУР ТА ЩІЛЬНОСТІ РЕСУРСІВ В МЕЖАХ ЗАХІДНОГО НГР

Михалевич І.Л.*[1]*, *ihor.mykhalevych@ugv.com.ua;*
Владика В.М.*[2]*, *vladyka.vitaliy@ugv.com.ua;*
Штереб В.В.*[2]*, *volodymyr.shtereb@ugv.com.ua;*
Бодлак В.П.*[2]*, *vasyl.bodlak@ugv.com.ua;*
1 – ГПУ «Львівгазвидобування», м. Львів, Україна,
2 – УкрНДІгаз, м. Львів, Україна

Розглянуто особливості оцінки нових перспективних площ у межах Західного нафтогазоносного регіону України з використанням даних Карти фонду структур та щільності ресурсів.

ASSESSMENT OF NEW PROSPECTIVE AREAS USING STRUCTURAL INVENTORY MAPPING AND RESOURCE DENSITY DATA WITHIN THE WESTERN OIL AND GAS REGION

Mykhalevych I.*[1]*, *ihor.mykhalevych@ugv.com.ua,*
Vladyka V.*[2]*, *vladyka.vitaliy@ugv.com.ua;*
Shtereb V.*[2]*, *volodymyr.shtereb@ugv.com.ua;*
Bodlak V.*[2]*, *vasyl.bodlak@ugv.com.ua;*
1 – GPU «Lvivgazvydobuvannya», Lviv, Ukraine,
2 – UkrNDIgas, Lviv, Ukraine

The study examines the specific features of evaluating new prospective areas within the Western Oil and Gas Region of Ukraine, taking into account data from the structural inventory map and regional resource density.

Для нафтогазовидобувних компаній України критично важливим завданням стратегічного розвитку залишається системне нарощування та оновлення ресурсної бази. Обсяг підтверджених ресурсів і запасів безпосередньо корелює з довгостроковими показниками видобутку вуглеводнів, що в умовах сучасних викликів є запорукою енергетичної незалежності держави.

На чинному законодавчому рівні виділяються три основні інституційні механізми розширення ресурсної бази підприємств:

- номінація ділянок на державні електронні аукціони з продажу спеціальних дозволів на користування надрами (або безпосередня участь у таких торгах);
- угода про розподіл продукції (УРП);
- розширення меж вже діючих спеціальних дозволів у межах передбачених нормативно-правовими актами обмежень.

Предметом даного дослідження є аналіз методологічних засад оцінки перспективних ділянок надр, які виносяться Державною службою геології та надр України на відкриті аукціони, а також порівняння державних підходів із сучасними корпоративними алгоритмами геолого-економічного аудиту.

Розрахунок початкової вартості лотів, що пропонуються Державною службою геології та надр України, значною мірою базується на узагальнених даних Карти фонду структур, а за відсутності детальних геолого-геофізичних матеріалів – на регіональних показниках щільності ресурсів. Проте аналіз методичного підґрунтя цих показників виявляє низку суттєвих системних обмежень.

Тривалий час актуалізацією та коректністю оцінки ресурсів виявлених перспективних об’єктів (зокрема, у межах Західного нафтогазоносного регіону) займалися фахівці ДП «Український державний геологорозвідувальний інститут» (УкрДГРІ). До 2021 року функціонувала ефективна система регулярного міжвідомчого діалогу: двічі на рік проводилися робочі зустрічі за участю представників геологічних

служб державних і приватних надрокористувачів. У ході колегіального обговорення результатів виконаних геологорозвідувальних робіт (ГРР) здійснювалася систематична верифікація Фонду структур:

- об’єкти, що за результатами буріння або детальних сейсмічних досліджень дали негативні результати, вилучалися з переліку;
- нові перспективні структури додавалися із чіткою деталізацією продуктивних комплексів та перерахованими обсягами перспективних ресурсів.

На сьогодні функціонування цієї верифікації фактично призупинено, що призводить до поступової втрати актуальності даних у державних геоінформаційних системах. Крім того, важливо враховувати фундаментальний геолого-геофізичний фактор: більшість виявлених і внесених до Фонду структур пошукових об’єктів були закартовані за допомогою модифікацій 2D-сейсморозвідки попередніх поколінь, які мають обмежену роздільну здатність у складних тектонічних умовах.

Застосування показника щільності ресурсів для регіональної оцінки є цілком природним у районах із високою вивченістю та поблизу відкритих родовищ. Проте цей критерій не завжди адекватно відображає реальні геологічні ризики на локальному рівні.

Необхідно враховувати виражену латеральну мінливість порід-колекторів, яка притаманна складним геологічним розрізам. На практиці навіть на незначній віддалі (близько 1 км) від свердловин, що дали промислові припливи вуглеводнів, якісні колекторські властивості можуть повністю втрачатися через фаціальні заміщення або тектонічне екранування.

Ілюстративним прикладом таких розбіжностей між регіональною оцінкою та локальною геологічною реальністю є Лисовицька площа. У межах цієї ділянки за архівними даними обліковуються чотири перспективні структури. Завдяки просторовій близькості до родовищ Долинської групи площа за формальними ознаками потрапляє до зони з дуже високим значенням щільності ресурсів, що формує високу стартову оцінку лоту.

Проте комплексний аналіз фактичних даних буріння свідчить, що характеристики порід-колекторів у межах площі є суттєво гіршими, ніж на суміжних родовищах. Додатково, виділення структур за результатами 2D-сейсморозвідки 1980-х років характеризується високим ступенем невизначності через низьку виразність рефлекторів хвильового поля та значну товщину й тектонічну ускладненість відкладів Самбірської покривної зони.

Корпоративний підхід АТ «Укргазвидобування» до мінімізації ризиків. Прагнучи підвищити ефективність інвестицій у надрокористування, фахівці АТ «Укргазвидобування» застосовують багатоступеневий комплексований алгоритм оцінки потенційних лотів перед прийняттям рішення про участь в аукціонах. Цей підхід базується на глибокій деталізації геологічних та економічних параметрів і включає такі етапи:

- систематизація даних. Збір та структурування всього масиву наявної геолого-геофізичної та геолого-промислової інформації як безпосередньо по цільовій площі, так і по родовищах-аналогах суміжних зон;
- формування єдиного банку даних, оцифрування та переінтерпретація архівних матеріалів сейсморозвідки та геофізичних досліджень свердловин (ГДС);
- побудова 3D геолого-геофізичних моделей та стохастична оцінка ресурсного потенціалу перспективних об’єктів;
- обґрунтування коефіцієнта геологічного успіху шляхом детального аналізу елементів нафтогазової системи (наявність та зрілість нафтогазоматеринських порід, шляхи міграції, якість колекторів, флюїдоупорів та пасток);

- рекогносцирувальні обстеження місцевості для оцінки фізичної можливості проведення ГРР з урахуванням санітарних і природоохоронних зон та інфраструктурних обмежень;
- розробка детального плану пошуково-розвідувальних робіт із визначенням оптимальної кількості, проектних глибин та траєкторій свердловин;
- обґрунтування інфраструктурних рішень щодо підключення та розрахунок детальної економічної моделі (NPV, EMV) з урахуванням геологічних ризиків.

Застосування зазначеного алгоритму дозволяє мінімізувати фінансові ризики надрокористувача. Водночас слід визнати, що через обмеженість або застарілість вихідних первинних даних високоризикові, але потенційно перспективні об’єкти часто отримують негативні економічні оцінки, що стримує їх залучення у розробку.

Для досягнення синергетичного ефекту між державою (в особі Державної служби геології та надр України) та видобувними компаніями, а також для формування прозорого і об'єктивного ринку надрокористування пропонується:
- відновити інституційний діалог: Відновити практику проведення регулярних науково-практичних семінарів та робочих груп щодо систематичної актуалізації даних Фонду структур і виявлених об'єктів. Державні профільні інституції у цьому процесі мають відігравати роль об'єктивного арбітра та модератора бази даних;
- модернізувати методику оцінки: Здійснити перегляд та поетапне оновлення регіональних карт щільності ресурсів із залученням сучасних даних 3D-сейсморозвідки, глибокого буріння та результатів новітніх басейнових моделювань;
- удосконалити перед-аукціонну підготовку: Сприяти переходу від формальних оцінок вартісних параметрів лотів до прозорого висвітлення реального ступеня геолого-геофізичної вивченості ділянок надр.

УДК 550.84:546.11

МЕТОДИКА ПОЛЬОВИХ ГАЗОГЕОХІМІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРИРОДНОГО ВОДНЮ

***Віхоть Ю.М.*[1]**, *к. геол. н., доц, ORCID ID 0000-0002-7588-9540, yuvik@ukr.net;*
***Кріль С.Я.*[2]**, *к. геол. н, ORCID ID 0000-0001-5790-5431, solia_kr@ukr.net;*
1 – Львівський національний університет імені Івана Франка, Львів, Україна,
2 – Львівське відділення УкрНДІгазу, АТ "Укргазвидобування, Львів, Україна

Проаналізовано сучасний методичний комплекс пошуку та локалізації природного (білого) водню, враховуючи польові газогеохімічні дослідження в Україні та світовий досвід. Розглянуто специфіку експрес-вимірювань вмісту водню у ґрунтовому газі, тривалого стаціонарного моніторингу, гідрогеохімії, дистанційного зондування та геофізичних методів. Обґрунтовано необхідність комплексування газогеохімічних робіт із геофізичними дослідженнями та газовим каротажем під час буріння (Mud Logging H_2).

Ключові слова: природний водень, геологічний водень, білий водень, ґрунт, польові дослідження, газогеохімічні дослідження.

METHODOLOGY OF FIELD GAS GEOCHEMICAL STUDIES OF NATURAL HYDROGEN

***Vikhot Y.*[1]**, *Cand. Sci. (Geol.), Assoc. Prof. ORCID ID 0000-0002-7588-9540, yuvik@ukr.net;*
***Kril S.*[2]**, *Cand. Sci. (Geology), ORCID ID 0000-0001-5790-5431, solia_kr@ukr.net;*
1 – Ivan Franko National University of Lviv, Lviv, Ukraine,
2 – Lviv Branch of UkrNDIgas, JSC Ukrgasvydobuvannya, Lviv, Ukraine

The modern methodological framework for the exploration and localization of natural (white) hydrogen is analyzed, incorporating field gas-geochemical surveys in Ukraine and global experience. The specifics of rapid soil gas hydrogen content measurements, long-term stationary monitoring, hydrogeochemistry, remote sensing, and geophysical methods are examined. The necessity of integrating gas-geochemical surveys with geophysical investigations and mud logging (H_2 Mud Logging) during drilling operations is substantiated.

Keywords: natural hydrogen, geological hydrogen, white hydrogen, soil, field studies, gas geochemical studies.

Вступ. У XXI столітті пріоритетом стає розвиток та пошук нових альтернативних джерел сталої енергії. Природний, геологічний, або "білий" молекулярний водень, як найкраща альтернатива дорогому паливу та енергії, на основі вуглеводнів, а також як заміна дорогому виробництву штучного водню, розглядається як джерело сталої безвуглецевої енергетики [2]. Успішне знаходження ділянок природної генерації H_2, з'ясування сприятливих умов для його промислових накопичень та вирішення низки складних та неоднозначних на сьогодні проблем – ось неповний перелік основних науково-прикладних завдань, що потребують покрокового вирішення для успішної реалізації водневих проєктів у країнах світ та в Україні.

Світова практика останніх років демонструє поступову нормативно-правову імплементацію геологічного водню до категорій корисних копалин, що створює нормативне підґрунтя для надання геологічних дозволів, проведення пошуково-розвідувальних робіт, оцінки видобувних ресурсів та можливої подальшої комерціалізації та продажу водню у подальшому.

Нещодавно природний водень у деяких країнах (напр., Австралія, Франція) вже законодавчо віднесли до корисних копалин як окрему корисну копалину. Проте у більшості країн (напр., США, Канада, Іспанія) регулювання розвідки, а навіть і буріння свердловин на водень здійснюється у межах існуючого нафтогазового або гірничого законодавства з додаванням спеціальних підпунктів з видобутку супутніх газів (напр., гелію). Таким чином, у світі сформувалося два шляхи юридичного визнання природного водню – прямий та інший, який можна назвати – адаптивним. Україна є серед країн із прямим визнанням природного водню як корисної копалини загальнодержавного значення. Рішення від травня 2025 року про внесення "водню природного" до Переліку

корисних копалин загальнодержавного значення закріпило юридичний статус геологічного водню в Україні [1]. Що стосується сусідніх держав, то природний водень, наприклад у Польщі, не виділений у самостійний вид корисних копалин і досліджується у межах загального ліцензування на геологорозвідку вуглеводневих систем або супутніх газів.

Хоча законодавчо природний водень в Україні визнано, однак станом на 2026 р. відсутні будь-які затверджені інструкції, нормативно-методичні документи та усе, що стосується підрахунку та визначення ресурсів природного водню. Наразі першочерговим завданням для України може бути розробка методично-нормативної бази для оцінки його можливого ресурсного потенціалу, та аналіз розвитку й успішності вуглеводневих проєктів у світі у країнах, які вже мають певні досягнення та готують ділянки під подальше буріння свердловин супутньо або власне на водень.

Мета роботи – проаналізувати методи газогеохімічних досліджень природного водню з урахуванням власних польових досліджень на території України та досвіду міжнародних компаній для коректного визначення підвищених концентрацій водню і подальшого картування аномальних ділянок. Крім того, коротко охарактеризувати інші методи дослідження з виявлення водню, що застосовуються у світі, оцінити їх успішність та можливість застосування в Україні.

Виклад основного матеріалу. За результатами аналізу низки наукових публікацій, щорічних звітів та матеріалів профільних конференцій з висвітленням водневої проблематики, сучасний комплекс пошуку природного геологічного водню у світі базується на поверхневих (приповерхневих) геохімічних зніманнях, аналізі у свердловинах (зокрема архівних), дистанційному зондуванні Землі, геофізичних методах.

Приповерхневі газогеохімічні методи дослідження вмісту водню.

Ключове місце серед приповерхневих газогеохімічних методів посідають *експрес-вимірювання вмісту водню* із використанням переносних газоаналізаторів (напр., BIOGAS 5000) на глибинах від 0,3–1,5 м. Цей метод застосовується для оперативного картування аномалій уздовж профілів або площинних сіток і він є придатний для кількісної оцінки концентрацій H_2 у регіоні. До недоліків методу належать такі: виявлені підвищені значення водню не однозначно вказують на кінцеву локалізацію основних джерел та глибину залягання водневих скупчень, особливо у регіонах із складною тектонічною будовою та наявністю тріщинуватості або глибинних розломів (для прикладу, Передкарпаття, Карпати, Закарпаття). Крім того, критично важливо є врахування навіть метеорологічних умов під час проведення польових робіт. Інтенсивні або довготривалі атмосферні опади призводять до водонасичення верхнього шару ґрунту, що створює флюїдоупорний бар'єр, заблоковує ґрунтову пористість і блокує вільну дегазацію водню. Це призводить до спотворення результатів вимірювань та отримання завищених концентрацій H_2. Отже, виявлення аномальних ділянок вимагає їх додаткового часового моніторингу та перевірки достовірності результатів, і може бути застосований довготривалий моніторинг.

Стаціонарний довготривалий моніторинг. Цей метод є необхідним етапом деталізації на ділянках, де виявлено аномальні значення H_2. Встановлення ґрунтових зондів із датчиками автоматичного запису на глибину 1–2 м на кілька місяців, дозволить відстежувати часові варіації виходу H_2, його залежність від барометричного тиску та добових ритмів дегазації, температури (методика, яку активно використовують французькі дослідники з Французького інституту нафти та нових джерел енергії (IFPEN) та Національного центру наукових досліджень Франції (CNRS).

Гідрогеохімічні дослідження підземних вод та джерел розвантаження. Цей метод передбачає вимірювання концентрації розчиненого водню у підземних водах і природних джерелах із застосуванням спеціальних дегазаційних камер та газової хроматографії. Цей підхід є широко апробованим у світовій практиці та застосовується в Омані, Бразилії.

Польща, як і Україна, з розвитку вирішення водневої проблематики перебуває на науково-дослідному та геохімічному етапі. Польський геологічний інститут (PGI-NRI) проводить дослідження з вимірювання вмісту H_2 у ґрунтовому повітрі та підземних водах у межах Передкарпатського прогину та Люблінського басейну, що є суміжним із українськими геологічними структурами (Передкарпаття та Волино-Поділля). Ще одним прикладом практичного застосування поверхневих газогеохімічних досліджень вмісту водню є досвід Іспанії. На родовищі Монсон (Monzón) триває етап польових газогеохімічних досліджень до вересня 2026 р., який виконують науковці з Абердинського університету. Отримані дані будуть враховані для планування подальшого глибокого буріння свердловини Monzón–2 на природний водень компанією Helios.

Дистанційні методи.

Супутникові дані застосовуються для регіонального експрес-аналізу великих територій для виявлення перспективних структур. Для прикладу виявлення та аналіз круглих або овальних депресій рельєфу, так званих “fairy circles”, які в окремих регіонах можуть вказуватмь на активну підповерхневу дегазацію H_2. Водночас наявність таких морфоструктур не є однозначним критерієм наявності скупчень водню та підтвердженням перспективності об’єкта. Метод має низку обмежень і потребує обов’язкової наземної геохімічної та геофізичної верифікації.

Геофізичні методи.

На етапі пошуково-розвідувального буріння та деталізації родовищ природного водню вирішального значення набуває комплекс геофізичних і промислово-геологічних досліджень: картування зон серпентинізації ультраосновних порід, що ґенерують водень; виділення зон глибоких тектонічних розломів, що визначають шляхи міграції та локалізацію пасток водню; неперервний аналіз бурового розчину безпосередньо під час буріння за допомогою спеціалізованих датчиків H_2 та хроматографічних комплексів, що дає змогу оперативно фіксувати газопрояви у розрізі під час свердловинного каротажу (Mud Logging H_2).

Висновки. Результати газо- та гідрогеохімічних досліджень – за умови апробованої методики відбору ґрунтового газу, надійної приладової бази та коректної інтерпретації концентрацій водню (у подальшому як ключових методів пошуку) – може бути першочерговим підґрунтям для кількісної оцінки концентрацій H_2 та обґрунтування можливого виділення перспективних ділянок. Наступним етапом дослідження є геологічна інтерпретація отриманих даних, що полягає у встановлення просторової кореляції зафіксованих поверхневих аномалій із розломною тектонікою, каналами розвантаження глибинних флюїдів та можливими джерелами генерації H2(зонами серпентинізації чи радіолізу). Важливим та обов’язковим також є комплексування приповерхневих газогеохімічних робіт із сейсморозвідкою, магнітометрією та параметричним і пошуковим бурінням із неперервним газовим каротажем (Mud Logging H2).

Експресні газово-геохімічні дослідження, аналіз даних буріння нових свердловин (зокрема на нафту та газ), каротаж газу бурового розчину, досвід іноземних держав слугуватимуть базовим інструментом для підтвердження або спростування перспективності певних ділянок у межах осадових басейнів України або, ймовірно, обґрунтування місць закладання перших спеціалізованих пошуково-розвідувальних свердловин на водень.

Список використаних джерел:

1. Про затвердження переліків корисних копалин загальнодержавного та місцевого значення: Постанова Кабінету Міністрів України від 12 груд. 1994 р. № 827 (зі змінами та доповненнями). URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/827-94-%D0%BF (дата звернення: 25.09.2026).

2. Hydrogen exploration: A review of global hydrogen accumulations and implications for prospective areas in NW Europe / N. J. P. Smith, T. J. Shepherd, M. T. Styles, G. M. Williams. Geological Society, London, Petroleum Geology Conference Series. 2005. Vol. 6. P. 349–358. DOI: https://doi.org/10.1144/0060349.

References

Cabinet of Ministers of Ukraine. (1994, December 12). *Pro zatverdzhennia perelikiv korysnykh kopalyn zahalnodzherzhavnoho ta mistsevoho znachennia* [On approval of the lists of minerals of national and local significance] (Resolution No. 827). Official Website of the Parliament of Ukraine. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/827-94-%D0%BF [in Ukrainian]

Smith, N. J. P., Shepherd, T. J., Styles, M. T., & Williams, G. M. (2005). Hydrogen exploration: A review of global hydrogen accumulations and implications for prospective areas in NW Europe. Geological Society, London, Petroleum Geology Conference Series, 6, 349–358. https://doi.org/10.1144/0060349

УДК 622.276+622.279:004.94

КОМПОЗИЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПОКЛАДІВ ВУГЛЕВОДНІВ У ПРОГРАМНОМУ КОМПЛЕКСІ ATLAS: ВІД РІВНЯННЯ СТАНУ ДО ЗАПАСІВ ЗА PRMS

Коваль В.І., *к. тех. н, v.koval@brend-vikltd.com;*
ТзОВ «Бренд-Вік ЛТД», Київ, Україна

Представлено композиційну модель програмного комплексу ATLAS для обґрунтування запасів і проєктних рішень з розробки газоконденсатних і нафтогазоконденсатних покладів. Її основою є нове кубічне рівняння стану KOVAL – узагальнення рівняння Брусиловського з α-функцією Twu, двопараметричною об'ємною трансляцією і коефіцієнтами парної взаємодії, каліброваними за GERG-2008. Для 17 речовин від N_2 до C_{12} середня похибка тиску насиченої пари становить 0,33 %, густини рідини – 0,30 % відносно еталонних рівнянь стану. Початковий склад флюїду розраховується з гравітаційно-хімічної рівноваги від газонафтового контакту, на якому тиск дорівнює тиску насичення: поклад розділяється на газову шапку і нафтову облямівку, а контакт, що суперечить пластовому тиску, виявляється автоматично. Модель пласта працює на декартових і нерегулярних (PEBI) сітках з розломами і тріщинами гідророзриву та розраховується разом зі свердловинами і наземною мережею у відкладеному або спільному режимі. Розглянуто також одночасно-сумісну експлуатацію кількох горизонтів і закачування CO_2 з домішками для зберігання (CCS). Основні показники еталонної задачі SPE4 лежать у межах розкиду опублікованих рішень учасників. Профілі видобутку передаються в модуль оцінки ресурсів і запасів за PRMS.

Ключові слова: композиційне моделювання, рівняння стану, газоконденсатний поклад, нерегулярна сітка, гідророзрив пласта, PRMS.

COMPOSITIONAL SIMULATION OF HYDROCARBON RESERVOIRS IN THE ATLAS SOFTWARE SUITE: FROM THE EQUATION OF STATE TO PRMS RESERVES

Koval V., *PhD (Eng.), v.koval@brend-vikltd.com;*
Brend-Vik LTD LLC, Kyiv, Ukraine

The compositional model of the ATLAS software suite is presented. It is intended to substantiate reserves and field development decisions for gas-condensate and oil–gas-condensate reservoirs. The model is built on KOVAL, a new cubic equation of state that generalizes the Brusilovsky equation with the Twu alpha function, a two-parameter volume translation and binary interaction coefficients calibrated against GERG-2008. For 17 substances from N_2 to C_{12}, the mean deviation from reference equations of state is 0.33% in vapour pressure and 0.30% in liquid density. The initial fluid composition is computed from gravity–chemical equilibrium referenced to the gas–oil contact, where pressure equals saturation pressure: the accumulation is split into a gas cap and an oil rim, and a contact that contradicts the reservoir pressure is flagged automatically. The reservoir model runs on Cartesian and unstructured (PEBI) grids with faults and hydraulic fractures and is coupled with wells and the surface network in deferred or simultaneous mode. Commingled multi-horizon production and injection of impure CO_2 for storage (CCS) are also covered. The key results of the SPE4 benchmark fall within the spread of the published participants' solutions. Production profiles are passed to the PRMS resources and reserves module.

Keywords: compositional simulation, equation of state, gas-condensate reservoir, unstructured grid, hydraulic fracturing, PRMS.

Вступ. Значна частина запасів вуглеводнів України зосереджена в газоконденсатних і нафтогазоконденсатних покладах, де склад флюїду змінюється з глибиною, а вилучення конденсату залежить і від режиму тиску в пласті, і від умов сепарації на поверхні. Обґрунтування запасів таких покладів за PRMS (Petroleum Resources Management System – система управління нафтовими ресурсами) (Society of Petroleum Engineers [SPE], 2018) потребує композиційної моделі: модель «чорної нафти» (black-oil) описує ретроградну конденсацію лише наближено і не відстежує розподілу компонентів за глибиною та складу потоку до установки комплексної підготовки газу (УКПГ). Точність композиційного розрахунку визначає насамперед рівняння стану: класичні кубічні рівняння помиляються в густині рідини на кілька відсотків, а еталонне рівняння GERG-2008 (Kunz & Wagner, 2012) охоплює лише 21 компонент без фракцій C_{7+} і надто повільне для гідродинамічних сіток.

Мета роботи – створити і перевірити в програмному комплексі ATLAS композиційну модель, що поєднує точне рівняння стану, рівноважну ініціалізацію покладу з газовою

шапкою і нафтовою облямівкою, нерегулярні сітки з тріщинами гідророзриву пласта (ГРП) і розрахунок разом зі свердловинами та наземною мережею, і довести її результати до категорій запасів за PRMS.

Рівняння стану. Рівняння KOVAL зберігає чотирипараметричну структуру Брусиловського (Brusilovsky, 1992):

$$P = \frac{RT}{v-b} - \frac{a_c \alpha(T)}{(v+c)(v+d)} \quad (1)$$

де P – тиск; T – температура; v – молярний об'єм; R – універсальна газова стала; a_c, b, c, d – коефіцієнти, що виражаються через критичні параметри речовини і параметри Z_c^*, W_c; $\alpha(T)$ – температурна функція. Прийнято $W_c = 0{,}75$ (тоді $c = d$) – структуру, оптимальну для густини рідини. Функцію $\alpha(T)$ узято у формі Twu et al. (1991) з окремою надкритичною гілкою, густину уточнено двопараметричною об'ємною трансляцією (Abudour et al., 2012). Для CO_2, N_2, O_2, CH_4 і H_2S рівняння прив'язане до еталонних рівнянь стану у формі вільної енергії Гельмгольца, коефіцієнти парної взаємодії $k_{ij}(T)$ калібровано за GERG-2008, параметри речовин – за еталонними даними NIST (National Institute of Standards and Technology) у реалізації CoolProp (Bell et al., 2014). Розрахунок властивостей займає 2,1 мкс на комірку сітки.

Ініціалізація покладу. Розподіл складу за глибиною визначається умовою гравітаційно-хімічної рівноваги (Høier & Whitson, 2001):

$$\ln f_i(h) = \ln f_i(h_0) + \frac{M_i g (h-h_0)}{RT}, \quad i = 1, \ldots, N \quad (2)$$

де f_i – летючість i-го компонента; M_i – його молярна маса; g – прискорення вільного падіння; h – глибина; h_0 – глибина газонафтового контакту (ГНК); N – кількість компонентів. Тиск на ГНК не задається, а обчислюється як тиск насичення флюїду за пластової температури; від контакту газова частина розраховується вгору, нафтова – вниз, за потреби з термодифузією (моделі Haase або Kempers). Програма знаходить глибину, де пластовий тиск дорівнює тиску насичення, і попереджає, якщо заданий ГНК суперечить тиску на датумі; у недонасиченій колоні газова шапка не будується. Фазу комірки визначає тип насичення (роса чи кипіння), а не густина, що принципово для близькокритичних флюїдів; запаси газу шапки і нафти облямівки підраховуються окремо.

Сітки і тріщини ГРП. Крім декартових, використовуються нерегулярні сітки PEBI (perpendicular bisection) – сітки Вороного (Heinemann et al., 1991), грані яких лягають на сліди розломів і межі зон, зі згущенням кільцями біля свердловин і смугами вздовж тріщин (рис. 3). Тріщини ГРП переносяться з модуля дизайну ГРП у модель пласта одним із двох взаємовиключних способів: як ефективний скін свердловини (Cinco-Ley & Samaniego-V., 1981) або як явні тріщини методом EDFM (embedded discrete fracture model – вбудовані дискретні тріщини) (Moinfar et al., 2014) з поправкою на недарсіївську течію.

Пласт – свердловина – мережа. Склад KOVAL передається з пласта через насосно-компресорні труби, штуцер і шлейфи до низькотемпературної сепарації (НТС) і стабілізації конденсату без переходу на спрощену модель флюїду. У відкладеному режимі (за замовчуванням) прогін пласта записує потік кожної свердловини, і наземне обладнання перераховується без повторного прогону. У спільному режимі на кожному кроці за часом тиск на усті, течія в стовбурі і приплив узгоджуються ітераціями (до трьох, допуск 0,02 МПа).

Результати. Для 17 чистих речовин від N_2 до C_{12} середня похибка KOVAL відносно еталонних рівнянь стану становить 0,33 % за тиском насиченої пари і 0,30 % за густиною рідини (рис. 1); рівень 0,5 % перевищено лише за тиском насиченої пари C_9, C_{11} і C_{12} (0,52–0,73 %). Для сумішей медіанне відхилення фазових обвідних природного газу від GERG-2008 становить 0,3–0,8 %, розрахунок установки НТС відрізняється від Aspen HYSYS у середньому на 0,45 %.

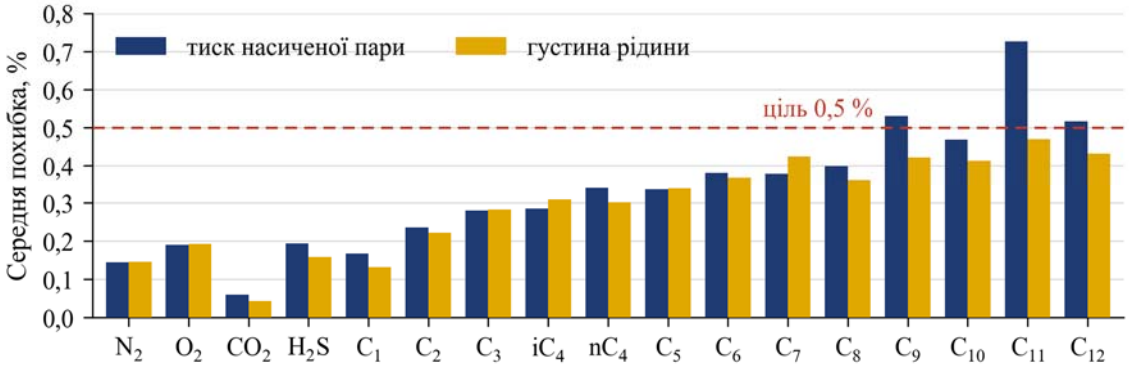


Рис. 1. Середня похибка рівняння стану KOVAL для 17 чистих речовин відносно еталонних рівнянь стану (NIST, CoolProp)

Рівноважний розподіл для дев'ятикомпонентного флюїду за 380 K наведено на рис. 2: на ГНК тиск дорівнює тиску насичення 23,75 МПа, густина стрибком змінюється з 276 до 369 кг/м^3, вміст C_{5+} – з 8,7 до 15,3 мол. %. На одному з реальних горизонтів перевірка показала недонасичення колони на 3,5 МПа, тому газову шапку не побудовано і поклад підраховано як нафтовий.

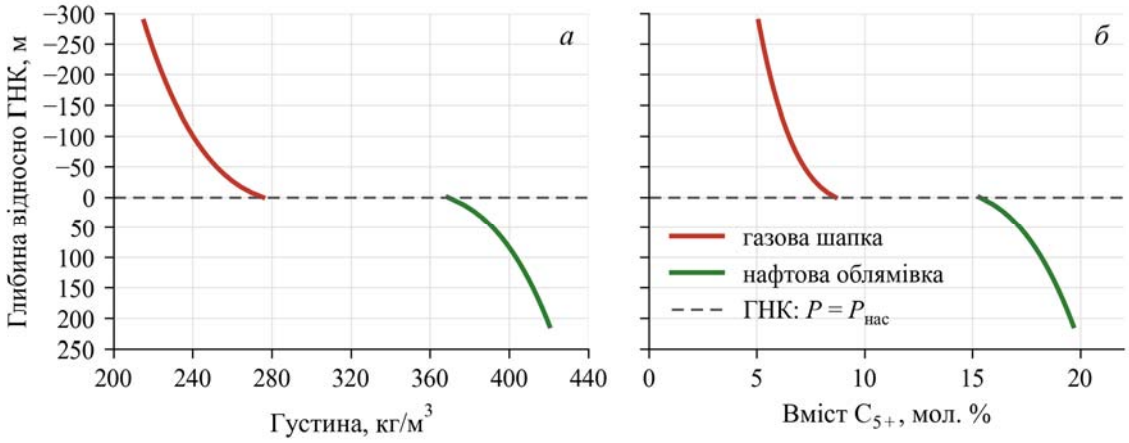
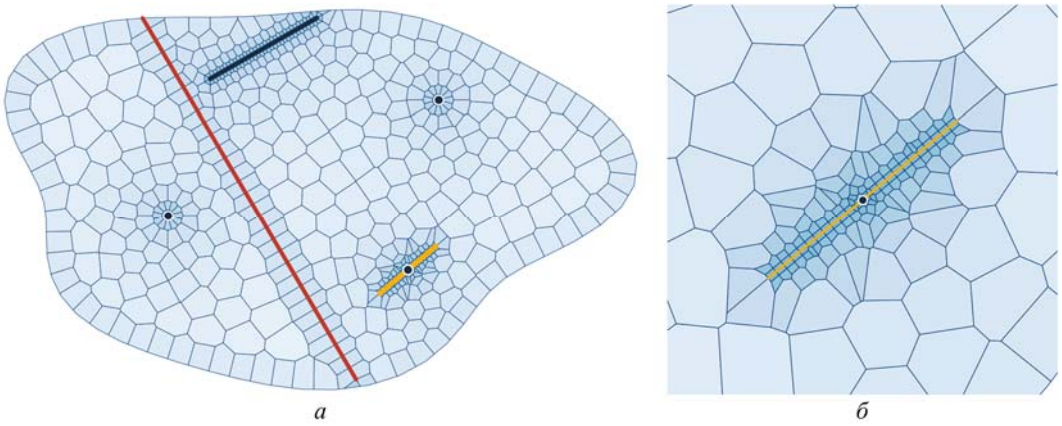


Рис. 2. Рівноважний розподіл густини (*а*) і вмісту C_{5+} (*б*) за глибиною відносно ГНК: дев'ятикомпонентний флюїд, T = 380 K, на ГНК $P = P_{нас}$ = 23,75 МПа

Сітка PEBI тестової моделі (809 комірок, рис. 3) покриває гранями 99,9 % довжини сліду розлому, а відносна нев'язка сумарної площі комірок має порядок 10^{-9}, тож підраховані об'єми не залежать від типу сітки; привибійна комірка на одній з моделей має площу 7 м^2 замість 10 533 м^2 на декартовій сітці. Довжина тріщини 240 м і площа її контакту з пластом 3 600 м^2 відтворюються точно на обох типах сіток, тоді як сходинкове подання похилої тріщини на декартовій сітці завищує площу контакту до 41 %; поправка на недарсіївську течію зменшує накопичений видобуток газу на 3,7 %.

У спільному режимі з навмисно хибного початкового наближення 99 МПа тиск на усті за ітераціями швидко наближається до робочого (33,9; 14,4; 8,5; 6,8 МПа), баланс маси установки – 117,8 т/д на виході проти 117,9 т/д на вході. У відкладеному режимі перебір тиску сепарації (2, 4, 6, 10 МПа) дав найбільший вихід стабільного конденсату 300,9 м^3/д за 4 МПа.



а *б*

Рис. 3. Сітка PEBI, побудована в ATLAS: *а* – модель з розломом (червоний), горизонтальним стовбуром (чорний) і тріщиною ГРП (жовта); *б* – згущення комірок уздовж тріщини

Верифікацію виконано на задачах SPE Comparative Solution Project. У задачі SPE1 (Odeh, 1981) задані дебіти витримано з нев'язкою балансу маси 0,003 % для нафти і 0,04 % для газу; задачу SPE3 (Kenyon & Behie, 1987) – сайклінг газоконденсатного покладу, 11 компонентів – розраховано в трьох варіантах за 52–95 с на варіант. Для теплових задач SPE4 опубліковано результати всіх учасників (Aziz et al., 1987), і основні показники ATLAS лежать у межах їхнього розкиду (табл. 1, одиниці статті; BTU – британська теплова одиниця). Два проміжні показники варіанта 1A дещо виходять за межі діапазонів, зчитаних з графіків статті: вода на 365-ту добу (8,34 проти 8,5–10 тис. барелів) і тепловтрати на 730-ту добу (1183 проти 1000–1150 млн BTU).

Таблиця 1

Результати ATLAS у задачах SPE4 порівняно з розкидом результатів учасників (Aziz et al., 1987)

Показник	ATLAS	Учасники
Варіант 1A – циклічна закачка пари, 3 роки		
Накопичений видобуток нафти, тис. барелів	18,40	18–21
Накопичені тепловтрати, млн BTU	1766	1500–1900
Початкові запаси нафти, тис. барелів	502,0	498,3–506,8
Нев'язка балансу нафти, барелів	23	12–44
Варіант 2A – витіснення парою, 10 років		
Накопичений видобуток нафти, тис. барелів	178,5	140–185
Відношення «нафта / пара»	0,163	0,13–0,17
Накопичені тепловтрати, млрд BTU	110,2	105–118
Прорив пари: ближня / дальня свердловина, діб	346 / 1612	257–539 / 1398–2245

Модель реального родовища (39 810 комірок, 119 430 невідомих) рахує місячний крок за 26,4 с (до оптимізації розв'язувача – 631,8 с), а продовження з рестарту дає той самий результат, що й безперервний прогін. Профілі видобутку передаються в модуль ГЕО PRMS: оцінка запасів методом Монте-Карло, геологічний ризик, категорії 1P/2P/3P, 1C/2C/3C і 1U/2U/3U (SPE, 2018); клас ресурсів обирає експерт, а програма документує обґрунтування кожного числа.

Одночасно-сумісна експлуатація. Горизонти мають власні сітки, флюїди й тиски і зв'язані лише свердловиною зі спільним вибійним тиском, тож перетікання визначається розв'язком. Видобуток між горизонтами розподіляється узгодженням моделі з даними промислової геофізики, роздільних випробувань і геохімії: на синтетичному двійнику 97,5 % часток лежать у межах ±2σ від істинних, а пропорція $k \cdot h$ помиляється до 0,28.

Закачування і зберігання CO_2 (CCS). Розраховано закачування CO_2 з домішками в аквіфер з відбором води (Wang et al., 2026). γ–φ-опис водної фази у флеші KOVAL зменшує похибку розчинності CO_2 відносно еталона (Spycher & Pruess, 2005) з 19,2 до 3,9 %; розчинений CO_2 більше залежить від вертикальної проникності, ніж від моделі рівноваги.

Наукова новизна роботи: 1) узагальнення рівняння стану Брусиловського, що в кубічній формі дає для чистих речовин середню похибку близько 0,3 % відносно еталонних рівнянь стану; 2) алгоритм рівноважної ініціалізації покладу, у якому тиск на ГНК визначається умовою $P = P_{нас}$, фаза комірки – типом насичення, а неузгоджений контакт виявляється автоматично; 3) поєднання в одній композиційній моделі сіток PEBI, тріщин ГРП і розрахунку разом зі свердловинами та мережею у двох режимах; 4) ув'язка горизонтів спільним вибійним тиском і розподіл видобутку між ними з оцінкою похибки часток.

Висновки. 1. Рівняння стану KOVAL забезпечує в кубічній формі похибку 0,33 % за тиском насиченої пари і 0,30 % за густиною рідини для 17 речовин і 0,3–0,8 % для фазових обвідних сумішей відносно GERG-2008. 2. Газова шапка і нафтова облямівка розподіляються на межі тиску насичення з перевіркою узгодженості контакту, що безпосередньо впливає на підрахунок запасів за зонами. 3. Сітки PEBI зберігають площі й об'єми з нев'язкою порядку 10^{-9} і усувають завищення площі контакту похилих тріщин ГРП до 41 %. 4. Основні показники задач SPE4 лежать у межах розкиду опублікованих рішень. 5. Одночасно-сумісна експлуатація горизонтів і закачування CO_2 з відбором води розраховуються в одній моделі. 6. Таблицю відповідності PRMS і Класифікації запасів і ресурсів корисних копалин державного фонду надр (Cabinet of Ministers of Ukraine, 1997) доцільно напрацювати разом з експертами Державної комісії України по запасах корисних копалин (ДКЗ).

Список використаних джерел:

1. Кабінет Міністрів України. (1997). *Про затвердження Класифікації запасів і ресурсів корисних копалин державного фонду надр* (Постанова № 432 від 05.05.1997). https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/432-97-п

2. Abudour, A. M., Mohammad, S. A., Robinson, R. L., Jr., & Gasem, K. A. M. (2012). Volume-translated Peng–Robinson equation of state for saturated and single-phase liquid densities. *Fluid Phase Equilibria, 335*, 74–87. https://doi.org/10.1016/j.fluid.2012.08.013

3. Aziz, K., Ramesh, A. B., & Woo, P. T. (1987). Fourth SPE comparative solution project: Comparison of steam injection simulators. *Journal of Petroleum Technology, 39*(12), 1576–1584. https://doi.org/10.2118/13510-PA

4. Bell, I. H., Wronski, J., Quoilin, S., & Lemort, V. (2014). Pure and pseudo-pure fluid thermophysical property evaluation and the open-source thermophysical property library CoolProp. *Industrial & Engineering Chemistry Research, 53*(6), 2498–2508. https://doi.org/10.1021/ie4033999

5. Brusilovsky, A. I. (1992). Mathematical simulation of phase behavior of natural multicomponent systems at high pressures with an equation of state. *SPE Reservoir Engineering, 7*(1), 117–122. https://doi.org/10.2118/20180-PA

6. Cinco-Ley, H., & Samaniego-V., F. (1981). Transient pressure analysis for fractured wells. *Journal of Petroleum Technology, 33*(9), 1749–1766. https://doi.org/10.2118/7490-PA

7. Heinemann, Z. E., Brand, C. W., Munka, M., & Chen, Y. M. (1991). Modeling reservoir geometry with irregular grids. *SPE Reservoir Engineering, 6*(2), 225–232. https://doi.org/10.2118/18412-PA

8. Høier, L., & Whitson, C. H. (2001). Compositional grading—Theory and practice. *SPE Reservoir Evaluation & Engineering, 4*(6), 525–535. https://doi.org/10.2118/74714-PA

9. Kenyon, D. E., & Behie, G. A. (1987). Third SPE comparative solution project: Gas cycling of retrograde condensate reservoirs. *Journal of Petroleum Technology, 39*(8), 981–997. https://doi.org/10.2118/12278-PA

10. Kunz, O., & Wagner, W. (2012). The GERG-2008 wide-range equation of state for natural gases and other mixtures: An expansion of GERG-2004. *Journal of Chemical & Engineering Data, 57*(11), 3032–3091. https://doi.org/10.1021/je300655b

11. Moinfar, A., Varavei, A., Sepehrnoori, K., & Johns, R. T. (2014). Development of an efficient embedded discrete fracture model for 3D compositional reservoir simulation in fractured reservoirs. *SPE Journal, 19*(2), 289–303. https://doi.org/10.2118/154246-PA

12. Odeh, A. S. (1981). Comparison of solutions to a three-dimensional black-oil reservoir simulation problem. *Journal of Petroleum Technology, 33*(1), 13–25. https://doi.org/10.2118/9723-PA

13. Society of Petroleum Engineers. (2018). *Petroleum resources management system* (Version 1.03). https://www.spe.org/en/industry/petroleum-resources-management-system-2018/

14. Spycher, N., & Pruess, K. (2005). CO_2–H_2O mixtures in the geological sequestration of CO_2. II. Partitioning in chloride brines at 12–100 °C and up to 600 bar. *Geochimica et Cosmochimica Acta, 69*(13), 3309–3320. https://doi.org/10.1016/j.gca.2005.01.015

15. Twu, C. H., Bluck, D., Cunningham, J. R., & Coon, J. E. (1991). A cubic equation of state with a new alpha function and a new mixing rule. *Fluid Phase Equilibria, 69*, 33–50. https://doi.org/10.1016/0378-3812(91)90024-2

16. Wang, Z., Smith, S. A. M., Stenby, E. H., & Yan, W. (2026). An efficient multicomponent gas–brine equilibrium model for CO_2 storage simulation with impurities. *International Journal of Greenhouse Gas Control, 156*, Article 104784. https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2026.104784

References:

Abudour, A. M., Mohammad, S. A., Robinson, R. L., Jr., & Gasem, K. A. M. (2012). Volume-translated Peng–Robinson equation of state for saturated and single-phase liquid densities. *Fluid Phase Equilibria, 335*, 74–87. https://doi.org/10.1016/j.fluid.2012.08.013

Aziz, K., Ramesh, A. B., & Woo, P. T. (1987). Fourth SPE comparative solution project: Comparison of steam injection simulators. *Journal of Petroleum Technology, 39*(12), 1576–1584. https://doi.org/10.2118/13510-PA

Bell, I. H., Wronski, J., Quoilin, S., & Lemort, V. (2014). Pure and pseudo-pure fluid thermophysical property evaluation and the open-source thermophysical property library CoolProp. *Industrial & Engineering Chemistry Research, 53*(6), 2498–2508. https://doi.org/10.1021/ie4033999

Brusilovsky, A. I. (1992). Mathematical simulation of phase behavior of natural multicomponent systems at high pressures with an equation of state. *SPE Reservoir Engineering, 7*(1), 117–122. https://doi.org/10.2118/20180-PA

Cabinet of Ministers of Ukraine. (1997). *On approval of the Classification of reserves and resources of minerals of the state subsoil fund* (Resolution No. 432 of 05.05.1997) [in Ukrainian]. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/432-97-%D0%BF

Cinco-Ley, H., & Samaniego-V., F. (1981). Transient pressure analysis for fractured wells. *Journal of Petroleum Technology, 33*(9), 1749–1766. https://doi.org/10.2118/7490-PA

Heinemann, Z. E., Brand, C. W., Munka, M., & Chen, Y. M. (1991). Modeling reservoir geometry with irregular grids. *SPE Reservoir Engineering, 6*(2), 225–232. https://doi.org/10.2118/18412-PA

Høier, L., & Whitson, C. H. (2001). Compositional grading—Theory and practice. *SPE Reservoir Evaluation & Engineering, 4*(6), 525–535. https://doi.org/10.2118/74714-PA

Kenyon, D. E., & Behie, G. A. (1987). Third SPE comparative solution project: Gas cycling of retrograde condensate reservoirs. *Journal of Petroleum Technology, 39*(8), 981–997. https://doi.org/10.2118/12278-PA

Kunz, O., & Wagner, W. (2012). The GERG-2008 wide-range equation of state for natural gases and other mixtures: An expansion of GERG-2004. *Journal of Chemical & Engineering Data, 57*(11), 3032–3091. https://doi.org/10.1021/je300655b

Moinfar, A., Varavei, A., Sepehrnoori, K., & Johns, R. T. (2014). Development of an efficient embedded discrete fracture model for 3D compositional reservoir simulation in fractured reservoirs. *SPE Journal, 19*(2), 289–303. https://doi.org/10.2118/154246-PA

Odeh, A. S. (1981). Comparison of solutions to a three-dimensional black-oil reservoir simulation problem. *Journal of Petroleum Technology, 33*(1), 13–25. https://doi.org/10.2118/9723-PA

Society of Petroleum Engineers. (2018). *Petroleum resources management system* (Version 1.03). https://www.spe.org/en/industry/petroleum-resources-management-system-2018/

Spycher, N., & Pruess, K. (2005). CO_2–H_2O mixtures in the geological sequestration of CO_2. II. Partitioning in chloride brines at 12–100 °C and up to 600 bar. *Geochimica et Cosmochimica Acta, 69*(13), 3309–3320. https://doi.org/10.1016/j.gca.2005.01.015

Twu, C. H., Bluck, D., Cunningham, J. R., & Coon, J. E. (1991). A cubic equation of state with a new alpha function and a new mixing rule. *Fluid Phase Equilibria, 69*, 33–50. https://doi.org/10.1016/0378-3812(91)90024-2

Wang, Z., Smith, S. A. M., Stenby, E. H., & Yan, W. (2026). An efficient multicomponent gas–brine equilibrium model for CO_2 storage simulation with impurities. *International Journal of Greenhouse Gas Control, 156*, Article 104784. https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2026.104784

УДК 622.7

ПРОДУКТИ ЗБАГАЧЕННЯ КОРИСНИХ КОПАЛИН ТА ЇХ МІСЦЕ У СИРОВИННОМУ ЛАНЦЮГУ

Прокопенко О.С.[1]*, ORCID ID 0000-0002-6817-1696, alex.prokop2206@gmail.com;*
Фалькович О.Л.[1]*, к. геол н., ORCID ID 0000-0002-3974-9938, falkovich.oleksii@gmail.com;*
Оринчак О.М.[2]*, office@neiau.com,*
1 – ТОВ «Геологічна сервісна компанія ГСК», Київ, Україна,
2 – Асоціація «Національна асоціація добувної промисловості України», Київ, Україна,

Окреслено напрями вдосконалення законодавства щодо повторного залучення продуктів збагачення та накопичених відходів видобувної промисловості до господарського обігу. Проблема має два взаємопов'язані аспекти: комплексне використання мінеральної сировини та зменшення екологічного навантаження від утримання хвостосховищ і мулонакопичувачів. Як основний підхід запропоновано не створювати нову паралельну систему, а адаптувати чинний механізм надрокористування: надати власнику техногенного накопичення можливість проводити обмежені дослідні роботи до промислової стадії без спеціального дозволу, з повідомною реєстрацією робіт, що передбачають фізичне втручання; після підтвердження економічної доцільності — проходити державну оцінку, проєктування та екологічні процедури й отримувати спеціальний дозвіл на користування надрами без аукціону та без плати за його надання. При цьому зберігаються державний облік, звітність, екологічні вимоги та рентні платежі з фактично вилученої товарної продукції. Як альтернативу розглянуто спеціальний режим «доступ – облік – рента», який максимально знижує бар'єр входу, але потребує створення окремого механізму обліку та оподаткування.

Ключові слова: продукти збагачення, хвости збагачення, техногенні накопичення, надрокористування, мінеральна сировина, рентна плата.

MINERAL PROCESSING PRODUCTS AND THEIR PLACE IN THE RAW MATERIAL CHAIN

Prokopenko O.[1]*, ORCID ID 0000-0002-6817-1696, alex.prokop2206@gmail.com;*
Falkovych O.[1]*, PhD (Geol.), ORCID ID 0000-0002-3974-9938, falkovich.oleksii@gmail.com;*
Orynchak O.M.[2]*, office@neiau.com,*
1 – LLC "Geological Service Company GSK", Kyiv, Ukraine,
2 – Association "National Association of Mining Industry of Ukraine", Kyiv, Ukraine

The paper outlines possible improvements to Ukrainian legislation aimed at returning mineral-processing products and accumulated extractive-industry waste to economic use. The issue combines two objectives: more complete use of mineral raw materials and reduction of the environmental burden associated with long-term storage of tailings. As the primary approach, it is proposed to adapt the existing subsoil-use mechanism rather than create a parallel regulatory system. The owner of a technogenic accumulation should be allowed to carry out limited evaluation studies before the industrial stage without a special subsoil-use permit, while physical interventions would be subject to a notification-based registration procedure. If economic feasibility is confirmed, the project would proceed through state evaluation, design and environmental procedures, followed by a special subsoil-use permit granted without auction and without a permit fee. State accounting, reporting, environmental requirements and rent payments on mineral resources actually recovered into marketable products would remain in force. As an alternative, the paper considers an "access – accounting – rent" regime, which lowers the entry barrier further but requires a separate legal, accounting and taxation mechanism.

Keywords: mineral processing products, tailings, technogenic accumulations, subsoil use, mineral raw materials, rent payments.

Вступ. Автоматичне сприйняття всіх продуктів збагачення виключно як безповоротних відходів, на наш погляд, не враховує їх потенційної ресурсної цінності. Хвости збагачення та інші техногенні накопичення можуть містити корисні компоненти або матеріал, придатний для повторної переробки, виробництва будівельної сировини чи іншого господарського використання. Це насамперед стосується підприємств, які переробляють вугілля, залізні та марганцеві руди, скляні піски та іншу сировину, що потребує збагачення. Тому проблема їх повторного залучення має два основні аспекти: комплексне використання мінеральної сировини та зменшення екологічного навантаження від тривалого складування хвостів.

Мета та підхід дослідження. Метою роботи є визначення можливого місця продуктів збагачення і техногенних накопичень у сировинному ланцюгу та формування підходу до їх

повторного залучення, який поєднує економічну доцільність, державний облік і екологічний контроль. Для цього розглянуто ресурсний потенціал техногенних об'єктів, бар'єри дослідної та промислової стадій і дві можливі моделі правового регулювання.

Виклад основного матеріалу. Техногенні накопичення — це об'єкти, на яких унаслідок виробничої діяльності сформовані значні масиви мінерального матеріалу техногенного походження: хвости та шлами збагачення, золошлакові відвали ТЕС, металургійні шлаки, фосфогіпс, «червоні шлами», відвали гірничих робіт. На відміну від природних родовищ, ці масиви вже видобуті, подрібнені й певною мірою перероблені, а отже, вони ближчі до кінцевих стадій ланцюга створення вартості й потенційно дешевші у залученні: не потрібно повторно розкривати родовище, переміщувати великі обсяги розкривних порід і створювати частину первинної гірничої інфраструктури. У практиці вживають і термін «техногенні родовища» — коли обсяги, однорідність і вміст корисних компонентів дають підстави застосовувати до таких об'єктів підходи, подібні до оцінювання природних родовищ: геолого-економічну оцінку, техніко-економічні розрахунки, планування гірничих робіт і схеми переробки.

Техногенні об'єкти різняться за походженням і структурою. Хвости збагачення руди — це тонкодисперсний матеріал із частково вивільненими мінеральними фазами; золошлаки ТЕС містять скляну аморфну складову та мікросфери; фосфогіпс — переважно дигідрат сульфату кальцію з домішками фосфатів, фторидів та інколи рідкісноземельних елементів; «червоні шлами» — лужна суміш, що містить оксиди заліза, алюмінію, титану та скандію; металургійні шлаки — багатокомпонентні оксидні системи (переважно CaO–SiO_2–Al_2O_3–MgO–FeO), які під час охолодження утворюють склоподібну або кристалічну матрицю. Розуміння фазового та хімічного складу матеріалу визначає технологічний підхід: що можна вилучити гравітаційними чи магнітними методами, що потребує вилуговування або іонообміну, а що доцільно перетворити на товарний матеріал для цементної промисловості, дорожнього будівництва чи виробництва гіпсових виробів.

До потенційних об'єктів повторного залучення в Україні можна віднести хвостосховища Марганецького ГЗК, хвости магнітної сепарації Центрального ГЗК та збагачувальних фабрик Ferrexpo, а також мулонакопичувачі Добропільської та Павлоградської збагачувальних фабрик (Прокопенко & Фалькович, 2025).

Основним критерієм доцільності залучення корисних компонентів, що містяться в руді або техногенному матеріалі, мають бути економічні показники собівартості та беззбитковості їх вилучення, а не лише сам факт наявності таких компонентів.

Ключовим бар'єром для повторного залучення вже накопичених хвостів є необхідність для власника інвестувати кошти та приймати на себе дозвільні зобов'язання ще до підтвердження технологічної й економічної доцільності переробки. Для багатьох історичних хвостосховищ склад матеріалу, вилучення корисних компонентів і можливий товарний продукт потребують окремого випробування. Тому система має дозволяти з відносно невеликими початковими витратами перевірити економічну гіпотезу, не втрачаючи державного контролю в разі переходу до промислового використання.

Закон України «Про управління відходами» визначає правовий статус власника відходів і передбачає можливість набуття матеріалом статусу побічного продукту за сукупності встановлених законом умов (Закон України № 2320-IX, 2022). Водночас право власності на техногенний матеріал саме по собі не повинно автоматично підміняти режим користування надрами у випадку промислового вилучення корисних копалин. Тому доцільно не скасовувати інститут спеціального дозволу повністю, а адаптувати його до специфіки вже видобутого й накопиченого матеріалу.

Перший етап — дослідження економічної доцільності.

На законодавчому рівні пропонується надати власнику техногенного накопичення право до отримання спеціального дозволу виконувати обмежений комплекс робіт, метою яких є встановлення складу, технологічних властивостей та економічної доцільності повторної переробки. Таке право не повинно включати промислове вилучення або реалізацію отриманого продукту.

Комплекс робіт має передбачати:

- аналіз наявної геологічної, технологічної та виробничої документації, побудова цифрової моделі техногенного тіла;
- відбір поверхневих, борознових, кернових та інших представницьких проб у межах техногенного матеріалу;
- буріння, зондування та інші контрольовані польові втручання виключно в межах тіла хвостів або іншого техногенного накопичення, без переходу у природні надра, що його підстилають;
- лабораторні, мінералогічні, хімічні та фізико-механічні дослідження;
- лабораторні й напівпромислові технологічні випробування з обмеженою масою матеріалу, необхідною для вибору технологічної схеми та оцінки вилучення;
- попередня техніко-економічна оцінка можливих продуктів і сценаріїв повторного використання.

Для камеральних і лабораторних робіт додаткове оформлення доцільно мінімізувати. Роботи, що передбачають фізичне втручання в техногенне тіло, пропонується оформлювати через просту повідомну електронну реєстрацію в інформаційній системі Держгеонадр із зазначенням меж об'єкта, строку, виду робіт та орієнтовного обсягу матеріалу для випробувань. Така реєстрація має бути обліковою, а не дозвільною процедурою: вона дає державі інформацію про роботи та водночас не створює для власника фінансового бар'єру до перевірки економічної доцільності.

Другий етап — перехід до промислової переробки.

Якщо дослідження підтверджують економічну доцільність, власник переходить до повної процедури оцінювання об'єкта: підготовки геолого-економічної оцінки, державної експертизи та оцінки запасів у встановленому порядку, проєктування, оцінки впливу на довкілля та інших процедур, необхідних для промислової діяльності (Кодекс України про надра, 1994; Закон України № 2805-IX, 2022). Після цього спеціальний дозвіл на користування надрами пропонується надавати власнику відповідного техногенного накопичення без проведення аукціону та без плати за його надання. Дозвіл при цьому зберігає функцію юридичної фіксації меж, виду корисної копалини, строку користування, обов'язків із державного обліку та контролю.

Після переходу до промислової стадії підприємство веде кількісний і якісний облік переробленого матеріалу та отриманої товарної продукції, подає встановлену геологічну і статистичну звітність та сплачує рентну плату за користування надрами відповідно до фактично вилучених корисних копалин і чинної системи оподаткування. Таким чином, фіскальний акцент переноситься з плати за право перевірити об'єкт на платежі, що виникають після підтвердження його економічної цінності та початку промислового використання.



Рис. 1. Дворівнева модель повторного залучення техногенних накопичень

Очікуваний ефект запропонованих змін. Основний очікуваний результат — зниження початкового фінансового та регуляторного ризику досліджень. Це може збільшити кількість об'єктів, для яких власники готові фінансувати випробування, сприяти залученню інвестицій у повторне збагачення, вилучення супутніх компонентів і виробництво будівельних матеріалів. За умови успішної реалізації проєктів можливі розширення мінерально-сировинної бази, скорочення обсягів накопичених хвостів і витрат на їх утримання. Рентні та інші податкові платежі зберігатимуться відповідно до узгодженого правового режиму. Це очікувані наслідки, кількісна оцінка яких потребує даних конкретних проєктів.

Поєднання дослідної стадії з повідомною реєстрацією фізичних втручань і подальшого спеціального дозволу без аукціону та плати за його надання розмежовує перевірку економічної гіпотези й промислове використання об'єкта, зберігаючи державний облік запасів і контроль на другому етапі.

Альтернативний підхід — спеціальний режим «доступ – облік – рента».

Альтернативою є спеціальний правовий режим переробки власних техногенних накопичень без дозволу на користування надрами. Право на промислову діяльність за цією моделлю виникало б після реєстрації об'єкта та виконання інших установлених вимог. Контроль здійснювався б через облік, звітність, екологічні процедури й окремо врегульовані рентні платежі. Для цього потрібні узгоджені зміни надрового, відходового та податкового законодавства, зокрема правила визначення платника й об'єкта оподаткування без прив'язки до спеціального дозволу.

Межі техногенного матеріалу необхідно відокремити від природних надр, щоб унеможливити використання спрощеного режиму для їх несанкціонованого видобування. Потрібно також визначити зв'язок нового обліку з державним балансом запасів. Основні відмінності запропонованих моделей наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Порівняння двох можливих моделей повторного залучення техногенних накопичень

Критерій	Модель 1 Спецдозвіл без аукціону та плати	Модель 2 «Доступ – облік – рента»
Правова основа	Адаптація чинного інституту спеціального дозволу до особливостей техногенного об'єкта.	Окремий режим промислової переробки без спеціального дозволу.
Бар'єр на дослідній стадії	Низький: обмежені дослідження без спецдозволу; повідомна реєстрація.	Низький: дослідження і подальший доступ будуються в межах одного спеціального режиму.
Перехід до промислової стадії	Спецдозвіл без аукціону і без плати після оцінки об'єкта та проходження необхідних процедур.	Реєстрація/облік об'єкта без спецдозволу; промислова діяльність контролюється через спеціальні правила.
Державний облік і контроль	Максимально використовує наявну систему Держгеонадр, ДКЗ, звітності та контролю.	Потребує визначення нового зв'язку з державним балансом, ДКЗ, звітністю та контролем.
Рентні платежі	Можуть працювати в логіці чинної системи після точкових змін для безоплатного дозволу.	Окреме визначення платника, об'єкта та моменту виникнення зобов'язання.
Масштаб законодавчих змін	Відносно обмежений: виняток для дослідної стадії та нова підстава для безаукціонного безоплатного дозволу.	Значний: узгоджені зміни надрового, відходового, податкового та підзаконного регулювання.

Критерій	Модель 1 Спецдозвіл без аукціону та плати	Модель 2 «Доступ – облік – рента»
Перевага для власника	Низькі витрати на перевірку об'єкта та відсутність плати/аукціонного ризику при отриманні права на промислову стадію.	Максимальна простота доступу після реєстрації.
Основний ризик	Процедура спецдозволу може залишатися тривалою, якщо одночасно не спростити адміністративні строки й документообіг.	Ризик правових колізій, дублювання обліку та використання режиму для обходу правил природного надрокористування.
Оцінка авторів	Рекомендований базовий варіант: баланс стимулу для власника і збереження чинної системи контролю.	Перспективна альтернатива, але складніша для впровадження.

Екологічний аспект повторного залучення хвостів.

Другий аспект проблеми хвостів збагачення пов'язаний з екологічними наслідками їх тривалого утримання та потенційним негативним впливом на довкілля. Щороку у світі утворюються мільярди тонн гірничих хвостів, а безпека хвостосховищ стала предметом окремого Global Industry Standard on Tailings Management (GISTM) (Global Tailings Review, 2020).

В Україні накопичені значні масиви хвостів гірничо-збагачувальних комбінатів, золошлаків ТЕС, фосфогіпсу та відходів вуглезбагачення. Такі об'єкти потребують довгострокового утримання, моніторингу, консервації або рекультивації.

Повторне залучення хвостів до господарського обігу може стати одним з інструментів зменшення довгострокового екологічного навантаження, однак такий ефект не є автоматичним: нова технологічна схема також повинна враховувати водний баланс, стійкість об'єкта, склад новоутворених залишків, пиління, фільтрацію та рекультивацію. Тому стимулювання повторної переробки доцільно будувати не лише на посиленні екологічних вимог, а насамперед на зниженні необґрунтованого регуляторного бар'єру за одночасного збереження екологічного контролю.

Висновки. Хвости збагачення та інші техногенні накопичення можуть бути додатковим джерелом мінеральної сировини за умови підтвердження технологічної придатності, економічної доцільності та екологічної прийнятності їх використання. Водночас поняття техногенного накопичення, техногенного родовища, побічного продукту й відходів не є взаємозамінними.

Базовим напрямом законодавчих змін пропонується дворівнева модель: доступ власника до обмежених дослідних робіт без спеціального дозволу з повідомною реєстрацією фізичних втручань; після підтвердження економічної доцільності — проходження встановлених процедур оцінювання та отримання спеціального дозволу без аукціону і без плати за його надання. Державний облік, звітність, рентні платежі та екологічні вимоги при цьому зберігаються. Спеціальний режим «доступ – облік – рента» може розглядатися як альтернативна модель для подальшої законодавчої дискусії.

Список використаних джерел:

Закон України № 2320-IX. (2022). Про управління відходами. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2320-20#Text

Закон України № 2805-IX. (2022). Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо удосконалення законодавства у сфері користування надрами. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2805-20#Text

Кодекс України про надра. (1994). https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/132/94-%D0%B2%D1%80#Text

Прокопенко, О. С., & Фалькович, О. Л. (2025). Техногенні ділянки, як шлях до розширення ресурсної бази України. У *Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування: Матеріали Десятої міжнародної науково-практичної конференції* (с. 180–183). Державна комісія України по запасах корисних копалин. https://conf.dkz.gov.ua/files/2025_materials_net.pdf

United Nations Environment Programme, Principles for Responsible Investment, & International Council on Mining and Metals. (2020). *Global industry standard on tailings management*. https://globaltailingsreview.org/global-industry-standard/

References:

Law of Ukraine No. 2320-IX. (2022). On waste management. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2320-20#Text [in Ukrainian].

Law of Ukraine No. 2805-IX. (2022). On amendments to certain legislative acts of Ukraine regarding improvement of legislation in the field of subsoil use. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2805-20#Text [in Ukrainian].

Prokopenko, O., & Falkovych, O. (2025). Technogenic sites as a pathway to expanding Ukraine’s resource base. In Subsoil use in Ukraine. Prospects for investment: Proceedings of the Tenth International Scientific and Practical Conference (pp. 180–183). State Commission of Ukraine on Mineral Resources. https://conf.dkz.gov.ua/files/2025_materials_net.pdf [in Ukrainian].

Subsoil Code of Ukraine. (1994). https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/132/94-%D0%B2%D1%80#Text [in Ukrainian].

United Nations Environment Programme, Principles for Responsible Investment, & International Council on Mining and Metals. (2020). Global industry standard on tailings management. https://globaltailingsreview.org/global-industry-standard/ [in English].

УДК 553.04

РАЦІОНАЛЬНЕ ВИКОРИСТАННЯ КОРИСНИХ КОПАЛИН ЯК ОСНОВА СТАЛОГО РОЗВИТКУ

Магир Н.Т., *https://orcid.org/0009-0008-5797-8073, NAZARII.MAHYR@lnu.edu.ua;*
Литвинюк С.Ф., *д. геол. н., доцент, https://orcid.org/0000-0003-3763-2100, lytvyniuksf@gmail.com;*
ЛНУ ім. Івана Франка, Львів, Україна

Розглянуто засади сталого та збалансованого управління мінерально-сировинною базою України. Висвітлено нормативно-правові аспекти державного управління надрокористуванням, а також значення мінеральної бази видобувної та переробної промисловості для розвитку національної економіки. Охарактеризовано роль Загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 року, яка має реалізовуватися як ключовий державний документ у цій сфері. Розглянуто сучасні підходи до оцінки, обліку та управління ресурсами на основі Рамкової класифікації ресурсів ООН і Системи управління ресурсами ООН. Окрему увагу приділено стратегічній та критичній мінеральній сировині, збалансованому формуванню мінерально-сировинної бази, верифікації запасів і ресурсів та їхньому значенню для сталого розвитку, інвестиційної привабливості й інтеграції України до міжнародних ланцюгів створення доданої вартості.

Ключові слова: Мінерально-сировинна база України, Системи управління ресурсами ООН, сталий розвиток, надрокористування.

RATIONAL USE OF MINERAL RESOURCES AS A BASIS FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT

Mahyr N., *https://orcid.org/0009-0008-5797-8073, NAZARII.MAHYR@lnu.edu.ua,*
Lytvyniuk S.*, Dr. Sci. (Geol.), Assoc. Prof., https://orcid.org/0000-0003-3763-2100, lytvyniuksf@gmail.com*
Ivan Franko National University of Lviv, Lviv, Ukraine

The principles of sustainable and balanced management of the mineral resource base of Ukraine are considered. The regulatory and legal aspects of state subsoil management are highlighted, along with the significance of the mineral base of the extractive and processing industries for the development of the national economy. The role of the National Program for the Development of the Mineral Resource Base of Ukraine until 2030, which should be implemented as a key state document in this area, is characterized. Modern approaches to the assessment, accounting, and management of resources based on the United Nations Framework Classification for Resources and the United Nations Resource Management Systems are considered. Special attention is paid to strategic and critical mineral raw materials, the balanced formation of the mineral resource base, the verification of reserves and resources, and their significance for sustainable development, investment attractiveness, and the integration of Ukraine into international value chains.

Keywords: mineral resource base of Ukraine, United Nations Resource Management Systems, sustainable development, subsoil use.

Вступ. На сьогоднішній час мінерально-сировинний комплекс має вагомий вплив на економіку України. На його основі працюють видобувна та переробна галузі, формуються промисловий потенціал і значна частина експортних надходжень. Загальнодержавна програма розвитку мінерально-сировинної бази до 2030 року (далі – Програма МСБ) визначає мінерально-сировинну базу як сукупність родовищ корисних копалин, у тому числі техногенних, а також відходів від видобування та переробки, придатних для промислового використання. В Україні розвідано близько 8,8 тис. родовищ промислового значення майже 100 видів корисних копалин. З видобутком і використанням корисних копалин пов'язано близько половини промислового потенціалу країни та до 20 % її трудових ресурсів, а експорт корисних копалин і продуктів їх переробки забезпечує близько 60 % загальної суми експортних надходжень (*Закон України від 21.04.2011 № 3268 VI*).

Потреба побудови надійних ланцюгів постачання мінеральної сировини провокує гострі геополітичні протистояння держав та міжнародних ринків. Управління мінеральними ресурсами вже стосується не тільки гірничої галузі. Якість оцінки ресурсів, планування їх використання та контроль втрат безпосередньо впливають на стійкість цілих галузей промисловості. У той же час, раціональне використання надр передбачає баланс

економічних, соціальних та екологічних інтересів і мінімізацію втрат корисних копалин. Такий підхід розвиває нову парадигму комплексного сталого управління природними ресурсами. Саме таку логіку закладає Система управління ресурсами ООН (далі – СУРООН) (*UNRMS, 2020*). Вона орієнтує на системний і довгостроковий розвиток системи управління ресурсами та пов'язує її з цілями сталого розвитку.

Виклад основного матеріалу. Функціонування гірничодобувної та геологічної галузі, забезпечення геологічного вивчення надр залежить від багатьох факторів: структури організаційно-правової форми інституцій, що її утворюють, нормативно-правової бази та регуляторного забезпечення, ресурсного потенціалу та методики оцінки мінеральних ресурсів, комплексного та раціонального використання мінеральної сировини.

1. Нормативно-правова база та державне управління надрокористуванням

В Україні завдання щодо впровадження збалансованого, комплексного використання надр для задоволення виробничих потреб мінеральною сировиною, забезпечення охорони надр та захисту природного середовища регулюються Конституцією України, Законом України "Про охорону навколишнього природного середовища", Кодексом України про надра, Гірничим законом України та іншими нормативними актами законодавства України, що розробляються відповідно до них або з урахуванням їхніх положень (*Литвинюк, С. Ф. та ін., 2024*).

Основним нормативно-правовим документом у сфері стратегії формування та розвитку ресурсного потенціалу є Закон України «Про затвердження Загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 року» від 21 квітня 2011 року № 3268-VI (зі змінами). Головна мета Програми МСБ — забезпечення потреб національної економіки в корисних копалинах та розвиток мінерально-сировинної бази держави. Відповідно до чинних змін, особлива увага приділяється нарощуванню ресурсної бази та розвитку видобутку корисних копалин стратегічного і критичного значення.

Аналіз Програми МСБ фіксує ряд проблем, які знижують ефективність управління. Зокрема, інформація про частину родовищ і рудопроявів втрачає актуальність, первинні геологічні дані можуть втрачатися, а значна частина родовищ не оцінена за міжнародними стандартами. Окрема проблема — виснаження природних ресурсів та відставання приросту запасів мінеральної сировини від темпів видобутку її окремих видів. Це ускладнює доведення ресурсної бази до необхідних кількісних та якісних показників й залучення інвестицій.

Подальше нехтування проблематикою Програми МСБ провокує збільшення ризиків нестачі багатьох видів корисних копалин, економічні та політичні проблеми та гальмуванням інтеграції України у глобальні ланцюги постачання. Тому стратегічні програми надрокористування (регуляторна та фінансова політика) повинні регулярно коригуватися з урахуванням змін попиту, технологій та міжнародних ланцюгів поставок.

Ще один важливий напрям — робота з критичною та стратегічною сировиною. У 2024 році до Програми були внесені відповідні поняття та орієнтири щодо нарощування вітчизняних промислових потужностей. Це показує, що державне управління має переходити від загального обліку ресурсів до формування конкретних ланцюгів їх освоєння, переробки та використання.

Державне управління тут має бути пов'язаним: від геологічного вивчення (початкові стадії) і геолого-економічної оцінки до державного обліку, підготовки ділянок до використання та подальшого контролю за розробкою.

2. Імплементація міжнародних стандартів класифікації та управління ресурсами

Перехід до міжнародно сумісної системи оцінювання потрібен не заради самої класифікації, а для того, щоб однаково розуміти, що саме являє собою ресурс, наскільки він вивчений, чи готовий до освоєння і наскільки життєздатним є відповідний проєкт. Саме таку логіку дає Рамкова класифікація ООН (далі – РКООН), а СУРООН розвиває її у напрямі інтегрованого управління ресурсами.

РКООН використовує три фундаментальні критерії. Вісь E показує екологічну та соціально-економічну життєздатність проєкту, вісь F — статус і обґрунтованість проєкту освоєння, а вісь G — геологічну вивченість і рівень достовірності знань (*UNFC, 2019*). Поєднання цих параметрів формує тривимірну систему кодів. У такому форматі оцінюється не тільки обсяг корисної копалини, а вся сукупність умов, які визначають реальну можливість отримання результату.

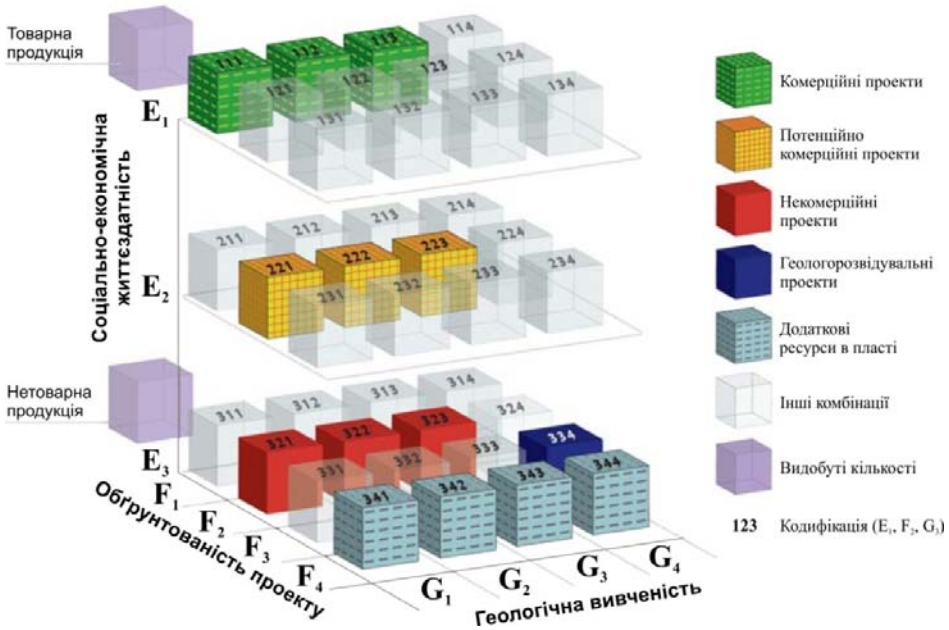


Рис. 1. Категорії РКООН та приклади класів за трьома осями E, F, G.

З 2025 року діє оновлена Класифікація запасів і ресурсів корисних копалин державного фонду надр (Класифікація…, 1997). Вона враховує економічне значення, техніко-економічну підготовленість та геологічну вивченість. Геолого-економічна оцінка охоплює весь життєвий цикл об’єкта — від пошуків і розвідки до проєктування, видобутку та ліквідації. Це дає можливість узгоджувати українські категорії з міжнародними підходами. Для залучення інвестицій така сумісність має практичне значення та зменшує інформаційний бар’єр між українським проєктом та зацікавленим інвестором.

3. Стратегічні та критичні мінерали: потенціал України

Україна має потужну мінерально-сировинну базу і водночас великий потенціал у критичній мінеральній сировині. У 2025 році вказано, що в Україні зосереджені родовища 22 з 34 критично важливих для Європейського Союзу корисних копалин (Портфоліо…, 2023). Україна є одним із провідних світових виробників титанових концентратів, графіту та марганцю, а також має підтверджені запаси літію, берилію, рідкісноземельних елементів і нікелю.

Стратегічність цих ресурсів пов’язана з розвитком зеленої енергетики, інноваційних технологій та оборонного сектору. При цьому сама наявність запасів не гарантує економічного ефекту. Потрібні сучасні технології видобування, збагачення, переробки, верифікація запасів і включення підприємств у довші ланцюги створення доданої вартості.

Графіт є одним із найкращих прикладів. У програмі МСБ зазначено, що Україна посідає шосте місце у світі за запасами графітових руд, а в Державному балансі обліковано 336,7 млн тонн графітової руди. Серед ділянок, які готуються до розробки, названо Буртинське родовище, Городнявську ділянку. Додатково перспективу мають об’єкти у Хмельницькій та Кіровоградській областях, де можна формувати підприємства з виробництва продукції високої доданої вартості.

Щодо цирконію та гафнію, Україна входить до числа провідних країн світу за ресурсами та запасами. На Українському кристалічному щиті та його схилах виявлені

комплексні циркон-ільменіт-рутилові розсипи, а в Приазов'ї — крупні рідкіснометальні та цирконій-рідкісноземельні родовища. Серед наведених у Програмі МСБ прикладів — Малишевське, Волчанське, Воскресенське, Тарасівське, Краснокутське, Мазурівське, Азовське та Новополтавське.

Літій та рідкісноземельні елементи також належать до групи ресурсів, для яких актуальні міжнародна верифікація, технологічна підготовка та побудова переробних виробництв. У цьому сенсі сучасна політика має бути спрямована не просто на збільшення видобутку, а на формування стійких ланцюгів постачання і зростання частки переробки в Україні.

Для об'єктів, які не розробляються, необхідна верифікація запасів за підходами РКООН. Це важливо для формування інвестиційного портфеля і відбору родовищ, які можуть перейти у стадію економічно життєздатних проєктів.

4. Комплексне освоєння родовищ та залучення розсіяних елементів

Раціональне використання надр означає не тільки повне вилучення основної корисної копалини. Воно передбачає баланс економічних, екологічних і соціальних інтересів, а комплексне використання — недопущення вибіркової розробки окремих видів сировини. Родовище потрібно оцінювати як єдину систему, в якій корисними можуть бути не лише основні компоненти, а й супутні речовини, вмісні породи та частина відходів (Кодекс …, 1994).

Залишки та відходи доцільно розглядати як вторинні ресурси, а не тільки як кінцевий продукт виробничого процесу. Це дає можливість зменшувати техногенне навантаження на довкілля, підвищувати повноту використання сировини і створювати додаткову цінність.

Комплексна розробка включає дослідження, необхідні для підрахунку запасів, обґрунтування способу і системи видобутку, вибір схеми переробки, контроль розробки родовища, вилучення промислово значущих компонентів і заходи з охорони довкілля. Такий підхід дозволяє підвищувати економічний ефект без простого збільшення обсягів видобутку.

Особливо це важливо для багатокомпонентної мінеральної сировини. У деяких випадках вартість супутніх елементів може бути співмірною або навіть вищою за вартість основної сировини. Тому повнота вилучення супутніх компонентів фактично визначає рівень комплексності використання родовища.

Додана вартість повинна формуватися якомога ближче до джерела ресурсу: від руди до металу, від металу до виробу, а далі — до повторного використання. Для критичної сировини саме такий підхід дає змогу посилити економічну стійкість і зменшити залежність від зовнішніх ланцюгів постачання.

Ще один принцип — максимальне зменшення втрат основної корисної копалини. Через недосконалі методи добування частина розвіданих запасів залишається в надрах. Тому вдосконалення технологій видобутку, організації робіт і контролю за розробкою є складовою охорони надр, а не лише питанням виробничої ефективності.

Висновки. Україна має сильну мінерально-сировинну базу, але її реальний потенціал залежить насамперед від якості державного та галузевого управління. Сучасна модель повинна поєднувати актуальну геологічну інформацію, міжнародно сумісну оцінку ресурсів, економічну й екологічну доцільність проєктів та комплексну переробку сировини. Загальнодержавна програма розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 року визначає основні державні орієнтири: геологічне вивчення надр, нарощування ресурсного потенціалу, раціональне використання родовищ і приділення більшої уваги стратегічній та критичній сировині.

Важливим напрямом є впровадження міжнародно сумісних підходів до класифікації та верифікації ресурсів. РКООН і СУРООН дають змогу оцінювати не лише геологічну вивченість запасів, а й ступінь готовності проєкту, його економічну, соціальну та екологічну обґрунтованість. Це особливо важливо для об'єктів, які можуть бути цікавими інвесторам, але потребують переоцінки або додаткового геологічного вивчення. Для

критичних мінералів перспективним є перехід від простого обліку запасів до формування верифікованих інвестиційних проєктів і розвитку переробки з вищою доданою вартістю.

Не менш важливим є комплексне освоєння родовищ. Максимальне вилучення основних і супутніх компонентів, зменшення втрат та залучення вторинної сировини дають змогу ефективніше використовувати вже наявну ресурсну базу і зменшувати навантаження на довкілля. Отже, сталий розвиток мінерально-сировинного комплексу України має ґрунтуватися на поєднанні раціонального надрокористування, сучасних методів оцінки, цифровізації геологічної інформації, міжнародної сумісності даних і комплексної переробки ресурсів. Саме такий підхід дає можливість перетворити наявний мінеральний потенціал на довгостроковий економічний і стратегічний ресурс держави.

У підсумку можна виділити три основні напрямки оптимізації управління. Перший — нормативний: постійно оновлювати державні пріоритети, враховувати стратегічну і критичну сировину та зміну міжнародного попиту. Другий — методичний: застосовувати СУРООН, РКООН, UNFC, CRIRSCO, PRMS, геостатистику і 3D-моделювання, щоб підвищувати достовірність та інвестиційну зрозумілість оцінки родовищ. Третій — виробничий: переходити від видобутку до комплексного освоєння, переробки, залучення супутніх компонентів і повторного використання.

Список використаних джерел:

Верховна Рада України. (1994). Кодекс України про надра (№ 132/94-ВР). https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/132/94-%D0%B2%D1%80

Верховна Рада України. (2011). Про затвердження Загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 року (№ 3268-VI). https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3268-17

Державна служба геології та надр України. (2023). Портфоліо критичної сировини України. https://www.geo.gov.ua/wp-content/uploads/presentations/ukr/critical-minerals-portfolio-ua.pdf

Кабінет Міністрів України. (1997). Класифікація запасів і ресурсів корисних копалин державного фонду надр (Постанова № 432). https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/432-97-%D0%BF

Литвинюк, С. Ф., Лагода, О. А., Нецький, О. В., & Бурлуцький, М. С. (2024). Правове регулювання системи управління мінерально-сировинною базою Державного фонду надр України. Мінеральні ресурси України, (4), 28–33. https://doi.org/10.31996/mru.2024.4.28-33

United Nations Economic Commission for Europe. (2019). United Nations Framework Classification for Resources (UNFC). https://unece.org/sites/default/files/2020-12/E_ECE_ENERGY_109_WEB.pdf

United Nations Economic Commission for Europe. (2020). United Nations Resource Management System Concept Note (UNRMS): Objectives, requirements, outline and way forward (ECE/ENERGY/GE.3/2020/4). https://unece.org/fileadmin/DAM/energy/se/pdfs/egrm/egrm11_apr2020/ECE_ENERGY_GE.3_2020_4._UNRMS_final.pdf

References

Cabinet of Ministers of Ukraine. (1997). Classification of reserves and resources of minerals of the State Fund of Subsoil (Resolution No. 432). https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/432-97-%D0%BF

Lytvyniuk, S. F., Lahoda, O. A., Netskyi, O. V., & Burlutskyy, M. S. (2024). Legal regulatory for the development of the mineral resource management system of the state subsoil fund of Ukraine. Mineral Resources of Ukraine, (4), 28–33. https://doi.org/10.31996/mru.2024.4.28-33

State Service of Geology and Subsoil of Ukraine. (2023). Portfolio of critical raw materials of Ukraine. https://www.geo.gov.ua/wp-content/uploads/presentations/ukr/critical-minerals-portfolio-ua.pdf

United Nations Economic Commission for Europe. (2019). United Nations Framework Classification for Resources (UNFC). https://unece.org/sites/default/files/2020-12/E_ECE_ENERGY_109_WEB.pdf

United Nations Economic Commission for Europe. (2020). United Nations Resource Management System Concept Note (UNRMS): Objectives, requirements, outline and way forward (ECE/ENERGY/GE.3/2020/4). https://unece.org/fileadmin/DAM/energy/se/pdfs/egrm/egrm11_apr2020/ECE_ENERGY_GE.3_2020_4._UNRMS_final.pdf

Verkhovna Rada of Ukraine. (1994). Subsoil Code of Ukraine (No. 132/94-VR). https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/132/94-%D0%B2%D1%80

Verkhovna Rada of Ukraine. (2011). The national program for the development of the mineral and raw material base of Ukraine for the period up to 2030 (Law No. 3268-VI). https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3268-17

УДК 550.831

20 РОКІВ СПІВПРАЦІ З АТ «УКРГАЗВИДОБУВАННЯ»: ВІД ОЧІКУВАНИХ ЗБИТКІВ ДІЮЧОЇ ПАРАДИГМИ КАРТУВАННЯ СЕЙСМІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ ДО КОМЕРЦІЙНОГО УСПІХУ БУРІННЯ, РЕСУРСІВ І ПРИБУТКУ НОВОЇ ПАРАДИГМИ КАРТУВАННЯ КОМЕРЦІЙНИХ ПОКЛАДІВ ВУГЛЕВОДНІВ

***Петровський О.П.**, д. фіз.-мат. н., професор,*
ORCID ID 0000-0002-7068-7464, Oleksandr.Petrovskyy@deproil.com,
Українська нафтогазова академія; НТК «ДЕПРОІЛ ЛТД.», Івано-Франківськ, Україна

Узагальнено результати 20-річної співпраці з АТ «Укргазвидобування» щодо застосування нової пошукової парадигми кількісного картування комерційних покладів вуглеводнів до буріння свердловин. У 2000–2019 роках роботи виконано на 20 ліцензійних ділянках загальною площею 1433,0 км²; польові гравіметричні спостереження площею 2,880.0 км²; закартовано 109 комерційних покладів із ресурсами 175,9 млрд м³ газу та 18,4 млн т нафти; запропоновано буріння 85 свердловин. За діючої пошукової парадигми з 59 пробурених свердловин 36 були комерційними, а зі 141 випробування комерційними були 45. Комерційний успіх буріння та випробувань за діючої пошукової парадигми – 61% і 32% відповідно. У межах закартованих комерційних покладів комерційними стали 25 із 33 свердловин і 32 із 51 випробування – 76% і 63% відповідно. За межами покладів комерційними стали 11 із 26 свердловин і 13 із 90 випробувань – 42% і 14% відповідно. Використання наданих рекомендацій дозволило відкрити нові родовища і поклади та збільшити фактичний комерційний успіх буріння компанії з 28% у 2000–2010 роках до 63% у 2011–2020 роках. Додатковий видобуток газу із додаткових комерційних свердловин приніс прибуток у розмірі 25,1 млн USD за вартості робіт 2,3 млн USD. Для програми буріння 2026 року гарантований чистий економічний ефект від застосування нової парадигми становить 189 млн USD, а коефіцієнт заміщення запасів – 120%.

Ключові слова: нова пошукова парадигма; комерційний поклад вуглеводнів; комерційний успіх буріння; сейсмічний перспективний об'єкт; ресурси; запаси; дреновані запаси; початковий дебіт; збиток; прибуток.

20 YEARS OF COOPERATION WITH JSC UKRGAZVYDOBUVANNYA: FROM THE EXPECTED LOSSES OF THE EXISTING PARADIGM OF SEISMIC OBJECT MAPPING TO COMMERCIAL DRILLING SUCCESS, RESOURCES AND PROFIT OF THE NEW PARADIGM OF COMMERCIAL HYDROCARBON POOL MAPPING

***Petrovskyy O.**, Dr. Sci. (Phys.-Math.) Professor,*
ORCID ID 0000-0002-7068-7464, Oleksandr.Petrovskyy@deproil.com,
Ukrainian Oil and Gas Academy; DEPROIL LTD., Ivano-Frankivsk, Ukraine

Results of 20-year cooperation with JSC "Ukrgasvydobuvannya" in applying the new exploration paradigm for quantitative pre-drilling mapping of commercial hydrocarbon pools are summarized. During 2000–2019, work covered 20 license areas totaling 1,433.0 km², with field gravity observations acquired over 2,880.0 km²; 109 commercial pools were mapped with resources of 175.9 bcm of gas and 18.4 million tonnes of oil, and 85 wells were recommended for drilling. Under the existing exploration paradigm, 36 of 59 wells and 45 of 141 well tests were commercially successful, giving commercial success rates of 61% and 32%, respectively. Within mapped pools, 25 of 33 wells and 32 of 51 tests were commercially successful–76% and 63%, respectively; outside the pools, 11 of 26 wells and 13 of 90 tests were commercially successful–42% and 14%, respectively. Implementing the recommendations enabled discovery of new fields and pools and increased the actual commercial drilling success rate from 28% in 2000–2010 to 63% in 2011–2020. Additional gas production from additional commercial wells generated USD 25.1 million in profit, with work costing USD 2.3 million. For the 2026 drilling program, the new paradigm guarantees USD 189 million net economic effect and a 120% reserve replacement ratio.

Keywords: new exploration paradigm; commercial hydrocarbon pool; commercial drilling success; seismic prospect object; resources; reserves; recoverable reserves; initial production rate; losses; profit.

Вступ. Головним стратегічним завданням АТ «Укргазвидобування» є забезпечення приросту запасів, необхідного для 100% покриття поточного видобутку та його подальшого збільшення. Метою роботи є ілюстрація 20-річного досвіду АТ «Укргазвидобування» у застосуванні нової пошукової парадигми для прямого кількісного картування комерційних покладів вуглеводнів як основи для майбутнього збільшення запасів та видобутку

вуглеводнів і їх подвоєння до 2032 року. Проведено порівняння комерційного успіху буріння і випробувань за діючої та нової парадигмами, оцінку ресурсів, очікуваних збитків та прибутків від застосування діючої та нової пошукових парадигм у програмі буріння 2026 року.

Діюча пошукова парадигма та її обмеження. У світових нафтогазових компаніях підготовка свердловин до глибокого буріння базується на принципах нафтової системи та імовірнісній оцінці закартованих перспективних сейсмічних об'єктів і аномалій. За даними Американської асоціації нафтогазових геологів (AAPG) (Rose, P. R., 1987) та професора Мілкова (Milkov, A. V., 2021), ця парадигма вже протягом понад 40 років забезпечує комерційний успіх пошукового буріння близько 30%, розвідувального – 55%, видобувного – 85% і він не збільшується (рис. 1).

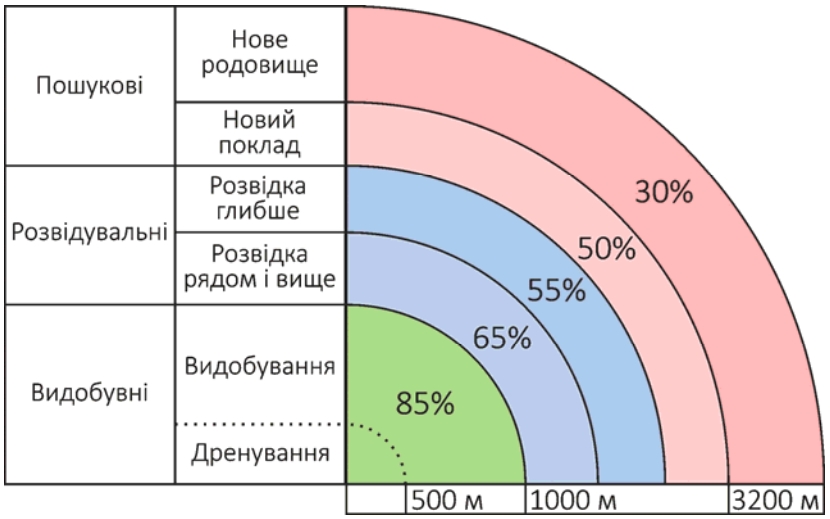


Рис. 1. Класифікація свердловин згідно з API залежно від відстані до найближчого відкритого комерційного покладу для пошукових свердловин і до найближчої видобувної свердловини для розвідувальних свердловин та їхній апріорний комерційний успіх буріння

За інформацією Westwood Energy Group (рис. 2), у 2025 році провідні світові компанії пробурили 64 пошукові свердловини у різних геологічних умовах і отримали 18 відкриттів, що відповідає середньому комерційному успіху 28% (Collard, J., 2026).

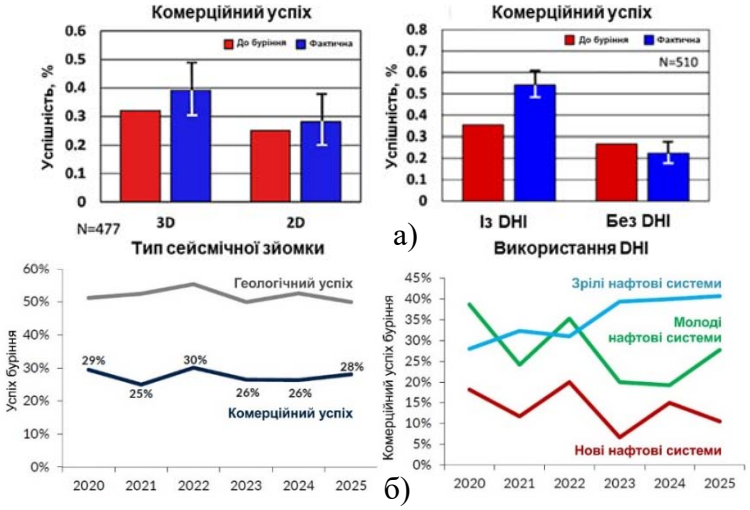


Рис. 2. Комерційний успіх пошукового буріння ExxonMobil 1995-2014 а) та провідних нафтових компаній світу у 2020–2025 рр для нафтових систем різного ступеня зрілості: Нові > 0%, Молоді < 50%, Зрілі > 90% – б).

В цілому комерційний успіх діючої парадигми залежить від модифікації сейсмічного методу та залучення методів прямого прогнозування нафтогазоносності – DHI та ступеня освоєння запасів нафтових систем (рис. 2) (Rudolph & Goulding, 2017).

У 2025 році для нових басейнів і нових нафтових систем, де запаси ще не відкриті, комерційний успіх становив близько 10%; для відомих басейнів із частково відкритими запасами (до 50%) – 28%; для зрілих басейнів, де частка вже відкритих запасів перевищує 90%, – 40%. Для умов України новим нафтовим системам відповідають шельф і глибоководна частина Чорного моря, глибокі горизонти західного та східного нафтогазопромислових районів, поклади газу сланцевих порід і щільних колекторів, нові неструктурні та діагенетичні поклади, а також ще невідомі поклади у межах старих великих родовищ, насамперед пов'язані з глибокими горизонтами.

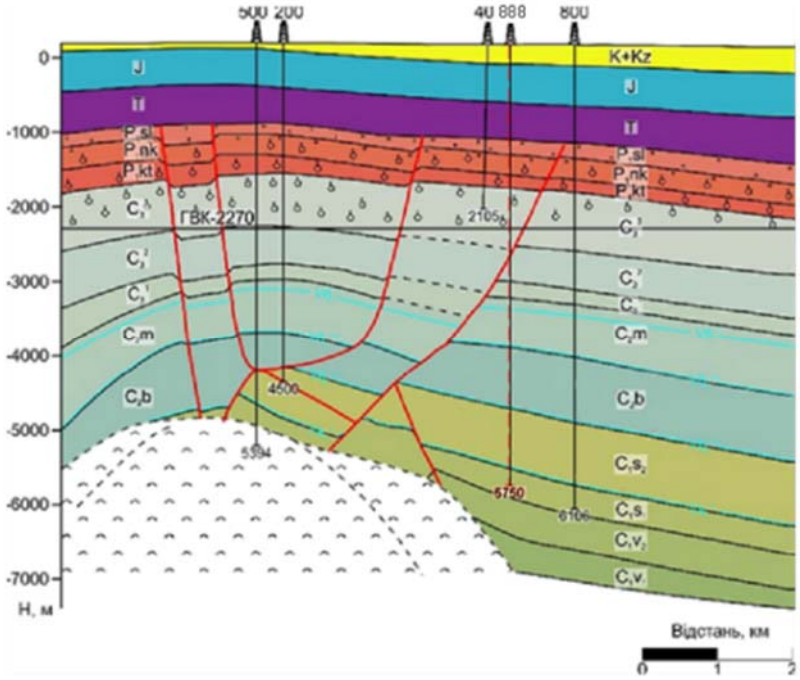


Рис. 3. Глибокі сухі свердловини № 500, 200, 800 та 888 - Шебелинські на сейсмогеологічному розрізі по лінії сейсмічного профілю 02ш248884 (Кривуля С. В., Лизанець А. В., Мачужак М. І., 2016 р.)

В Україні найбільш яскравим прикладом комерційного успіху розбурювання сейсмічних об'єктів нової нафтової системи є пошукове буріння на відклади середнього та нижнього карбону, глибше основного покладу Шебелинського газового родовища (рис. 3). У 1980–2000 роках пробурено 11 сухих свердловин. У 2021 році світовим сервісним гігантом Schlumberger було пробурено 12-ту суху свердловину № 888.

Буріння свердловини 888 обійшлося АТ «Укргазвидобування» 790 млн грн (33,35 млн доларів) та підтвердило, що навіть світові компанії не можуть збільшити комерційний успіх буріння та відкрити нові поклади і родовища, які належать до «нових нафтових систем».

Стан програми буріння 2026 року. Програмою збільшення ресурсної бази на 2026 рік (Ткачук Ю. П., 2026) передбачено буріння 35 пошукових та 100 видобувних свердловин з орієнтовним бюджетом 831 млн USD за орієнтовної середньої вартості однієї пошукової свердловини 8,6 млн USD та видобувної – 5,3 млн USD. За комерційного успіху пошуково-розвідувального буріння 64% (Фірман М. А., 2019) (рис. 4) і видобувного буріння 85% (Рис. 1) слід очікувати буріння близько 28 сухих свердловин: 13 пошукових і 15 видобувних. Прямі збитки від буріння сухих свердловин становитимуть приблизно 191 млн USD.



Рис. 4. Комерційний успіх буріння у 2015–2018 роках пошуково-розвідувальних свердловин АТ «Укргазвидобування»

За середнього приросту запасів у 2025 році – 0,456 млрд м³ газу/добу пробурену комерційну свердловину – 22 комерційні пошуково-розвідувальні свердловини забезпечать приріст запасів приблизно 10,0 млрд м³.

Якщо у 2026 році обсяг видобутку залишиться на рівні 2025 року і становитиме 11,4 млрд м³, вдасться замістити видобуті запаси лише на 88%. Отже, за умови дотримання діючої пошукової парадигми у 2026 році компанія не досягне поставлених цілей щодо збільшення видобутку та заміщення запасів.

Для забезпечення збільшення у 2027 році коефіцієнта заміщення видобутих запасів до 100% і більше можливе буріння додаткової кількості пошуково-розвідувальних свердловин, що призведе до збільшення збитків, пов'язаних із бурінням додаткових сухих свердловин.

Альтернативою досягнення у 2026 та 2027 роках цілей збільшення видобутку та запасів, за тієї самої кількості свердловин і бюджету буріння або навіть за їх зменшення, є застосування нової пошукової парадигми, яка дозволить суттєво зменшити кількість сухих свердловин.

Нова пошукова парадигма. Основним об'єктом пошуків, розвідки та видобування вуглеводнів у новій пошуковій парадигмі є не сейсмічний перспективний об'єкт, а природний комерційний поклад вуглеводнів – замкнене, гідродинамічно ізольоване тіло у межах вуглеводневонасичених порід, у якому пористість – ~6%, насичення – 50%, проникність, дреновані запаси та початковий дебіт одночасно перевищують наперед визначені граничні значення, за яких буріння свердловини стає комерційно привабливим (Рис. 5).

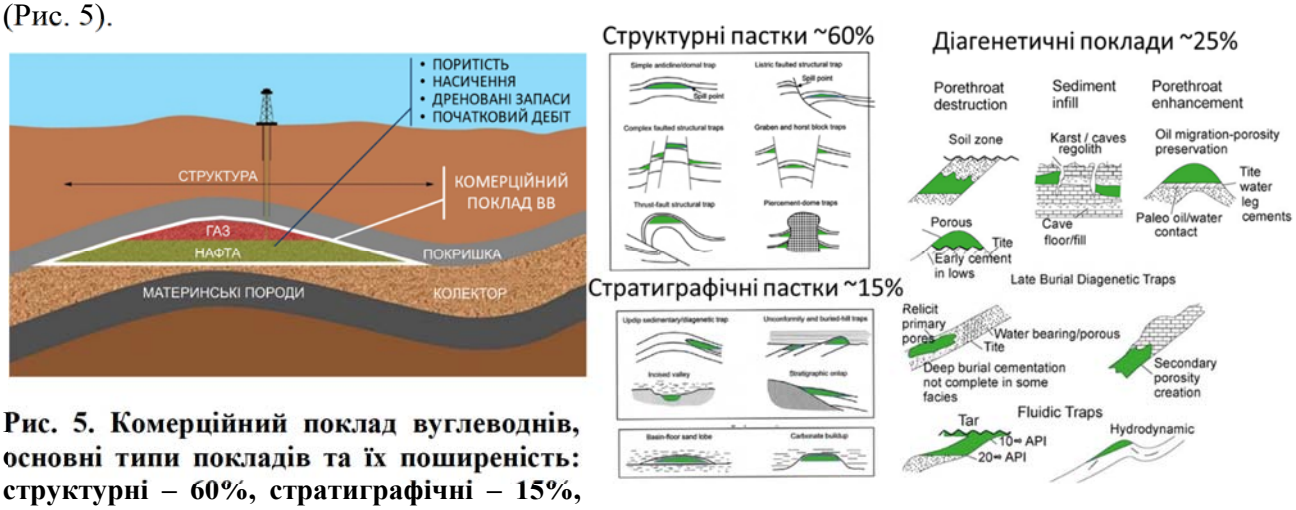


Рис. 5. Комерційний поклад вуглеводнів, основні типи покладів та їх поширеність: структурні – 60%, стратиграфічні – 15%, діагенетичні – 25%.

Нова парадигма забезпечує перехід від імовірнісної оцінки перспективних сейсмічних об'єктів до кількісного високоточного картування положення, форми та параметрів комерційних покладів вуглеводнів до буріння. Її науково-технічною основою є створення високоточної детальної 3D-моделі реальної густини порід від денної поверхні до утворень фундаменту у результаті спільного геологічно-змістовного розв'язку оберненої 3D-задачі кількісної комплексної інтерпретації гравіметричних, сейсмічних, свердловинних, петрофізичних, геологічних і промислових даних без застосування регуляризації. Комерційні поклади у 3D-моделі безпосередньо картуються як ізольовані тіла пониженої густини, де найменша густина відповідає найбільшій пористості, насиченню, щільності запасів, дренованим запасам та початковому дебіту, а максимальна густина відповідає породам із граничним вуглеводневонасиченням – 50% та описує 3D-контур комерційного покладу. В межах кожного замкненого тіла розраховуються пористість, насичення, щільність запасів, дреновані запаси і початковий дебіт нової свердловини. Після цього параметри порівнюються з відомими граничними значеннями, наприклад очікуваний початковий дебіт більше 1 тис. $м^3$ газу/добу для неглибоких свердловин Західного та 50 тис. $м^3$ газу/добу для свердловин Східного нафтогазопромислового району, після чого приймається рішення щодо віднесення закартованих тіл до комерційних покладів вуглеводнів.

Для отримання комерційного результату свердловини мають буритися виключно у межах закартованих комерційних покладів, не глибше найглибшого закартованого покладу та в місцях із максимальними дренованими запасами й очікуваним початковим дебітом. За 30 років застосування нової парадигми виконано 89 пошуково-розвідувальних проєктів загальною площею понад 700 тис. км², закартовано 138 комерційних покладів із ресурсами 251 млн т умовного палива та запропоновано буріння 177 високодебітних свердловин.

Перевірка нової парадигми бурінням. За 20 років, після картування комерційних покладів, усі замовники робіт пробурили 84 нові свердловини глибиною до 6,5 тис. м, із яких 56 стали комерційними – комерційний успіх діючої парадигми 67% (Рис. 6). У межах закартованих комерційних покладів пробурили 51 свердловину, із яких 44 стали комерційними – комерційний успіх нової парадигми 86%. За межами покладів пробурили 33 свердловини, де комерційними стали 12 свердловин – комерційний успіх буріння за межами комерційних покладів 36%.

Із 174 проведених випробувань 75 дали комерційний приплив – комерційний успіх випробувань за діючої парадигми 43% (Рис. 6). У межах закартованих покладів провели 73 випробування, із яких 58 дали комерційний приплив – комерційний успіх випробувань за нової парадигми 79%. За межами покладів із 101 випробування комерційний приплив отримано лише під час 16 випробувань – комерційний успіх за межами комерційних покладів 16%.



Рис. 6. Середній комерційний успіх буріння і випробувань за діючої та нової пошукових парадигм

Точність визначення параметрів комерційних покладів: кореляція густини – 68–84% за відносної похибки 1,7–2,5%; пористість і насичення – 85–90%; видобувні запаси – 86%; початковий дебіт – 85–99%.

Результати 20-річної співпраці з АТ «Укргазвидобування». У період 2000–2019 років на ліцензійних ділянках АТ «Укргазвидобування» (УГВ) виконано картування комерційних покладів у межах 20 ліцензійних ділянок загальною площею 1,4 тис. км², створено 3D-моделі на площі 6,5 тис. км² та проведено польові гравіметричні й магнітометричні дослідження на площі 2.9 тис. км².

Вартість робіт становила 2,3 млн USD. У результаті закартовано 109 комерційних покладів із ресурсами 175,9 млрд м³ газу та 18,4 млн т нафти. Вартість ресурсів газу становила 61,6 млрд USD. Запропоновано буріння 85 свердловин (рис. 7).

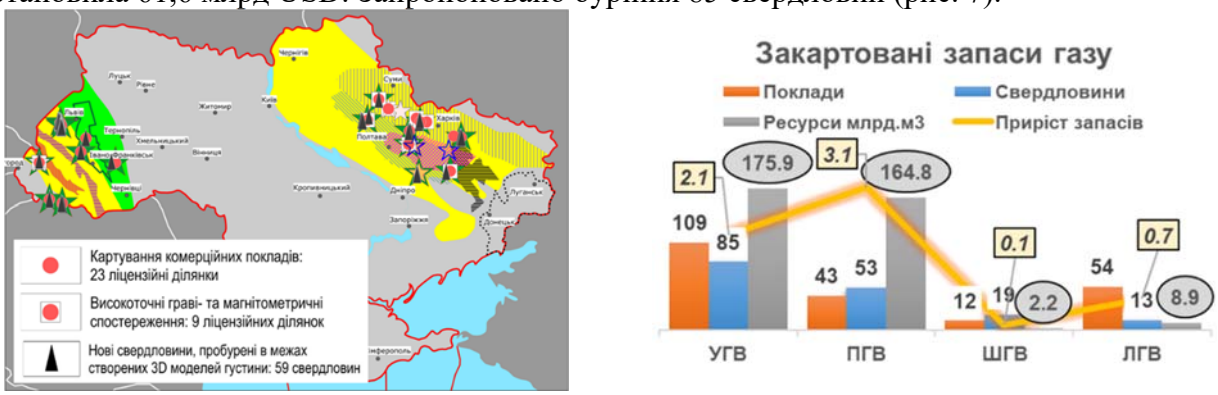


Рис. 7. Ділянки робіт, пробурені свердловини, закартовані комерційні поклади, їх ресурси, запропоновані свердловини і приріст запасів на одну запропоновану свердловину

За період співпраці з УГВ пробурило 59 свердловин, із яких 36 стали комерційними – комерційний успіх буріння за діючої парадигми 61% (рис. 8).

У межах закартованих покладів пробурено 33 свердловини, із яких 25 стали комерційними, – комерційний успіх буріння за нової парадигми 76%, що на 15 процентних пунктів вище за успіх діючої парадигми. За межами покладів пробурено 26 свердловин, із яких 11 стали комерційними, – комерційний успіх 42%, що на 19 процентних пунктів нижче за успіх діючої парадигми.

Із 141 проведеного випробування під час 45 отримано комерційний приплив – комерційний успіх випробувань за діючої парадигми 32%. У межах комерційних покладів комерційний приплив отримано під час 32 із 51 випробування – комерційний успіх випробувань за нової парадигми 63%.

За межами покладів комерційними стали 13 із 90 випробувань – комерційний успіх 14%. Таким чином, фактичний комерційний успіх буріння в межах покладів у 1,8 разів вищий, а випробувань у 4,5 рази вищий, ніж за межами покладів (АТ «Укргазвидобування», 2021).

Фактичну вірогідність розміщення комерційних запасів у закартованих комерційних покладах розраховано як відношення кількості комерційних свердловин і випробувань у межах закартованих покладів до загальної кількості свердловин та випробувань.

У межах покладів пробурено 25 із 36 комерційних свердловин – вірогідність становить 69%; проведено 32 із 45 комерційних випробувань – вірогідність становить 71%. За межами покладів відповідні показники становлять 31% і 29%.

Таким чином, за результатами буріння у межах закартованих комерційних покладів комерційних запасів у 2,2–2,4 рази більше, ніж за їх межами (рис. 8).

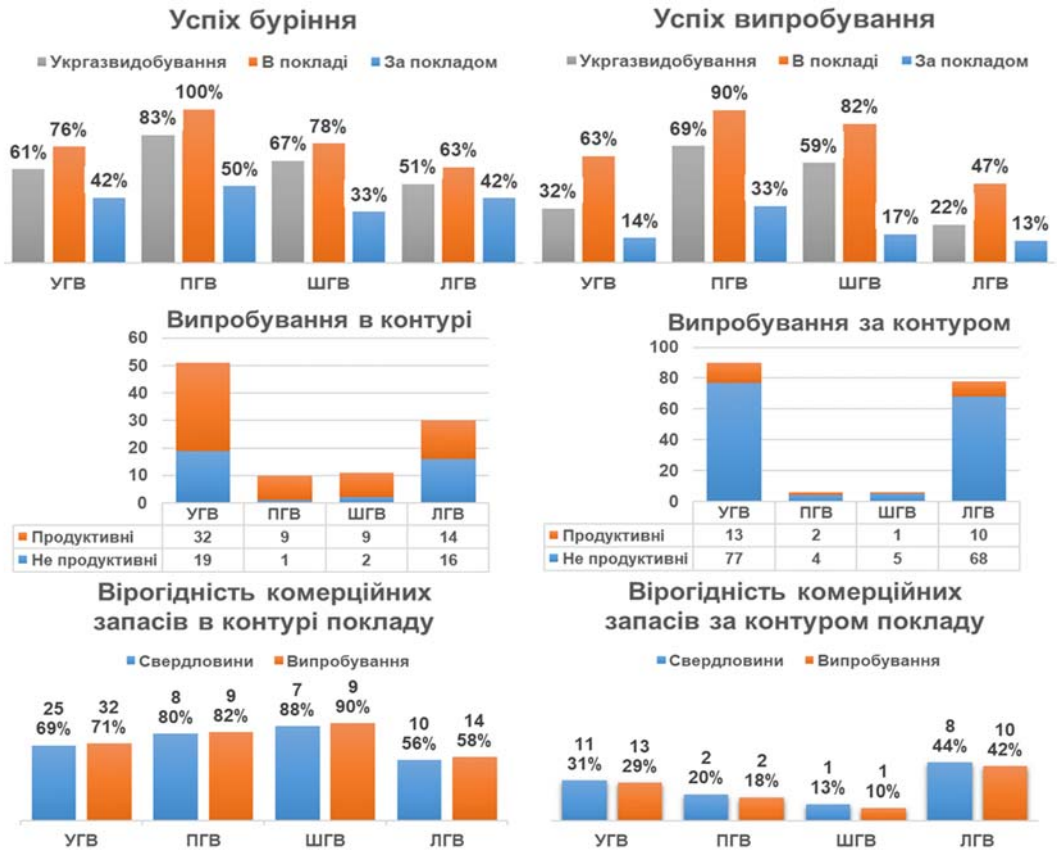


Рис. 8. Комерційний успіх буріння і випробувань за діючої та нової парадигм, а також вірогідність розміщення запасів у межах та за межами покладів

Фактичні геологічні та промислові результати. Врахування наданих рекомендацій для закладання свердловин дозволило в ДДЗ відкрити газові родовища Скиданівське — 3 комерційні пошукові та розвідувальні свердловини — та Жемчужне — 1 комерційна пошукова свердловина; нові поклади у межах Північно-Скворцівської і Північно-Кузьмичівської площ — 2 комерційні пошукові свердловини; а також розширити контур газоносності Розпашнівського газоконденсатного родовища — дві комерційні видобувні свердловини. На Богатойській площі ДДЗ пробурено видобувну свердловину № 57 із максимальним дебітом для серпухівських відкладів на родовищі – 103,7 тис. м³/добу. На Солотвинському газовому родовищі у Закарпатті пробурено комерційну свердловину № 15 із дебітом 62 тис. м³/добу. На Дібровській і Жденієвській площах у Закарпатті та Марченківській площі ДДЗ за межами закартованих покладів пробурено чотири попередньо передбачені сухі свердловини. Усього було передбачено буріння 15 сухих свердловин та проведення 77 сухих випробувань.

З метою перевірки ефективності картування комерційних покладів у 2016–2017 роках було проведено пілотний проєкт, який, крім картування комерційних покладів вуглеводнів, включав виконання польових гравіметричних та магнітометричних спостережень. Застосування результатів нової парадигми у 2018–2019 роках і використання рекомендацій щодо розміщення свердловин збільшили фактичний комерційний успіх буріння УГВ на 35 процентних пунктів – із 28% у 2000–2010 роках до 63% у 2011–2020 роках (рис. 9).



Рис. 9. Збільшення фактичного комерційного успіху буріння УГВ завдяки проведенню високоточних гравіметричних спостережень та врахуванню рекомендацій під час буріння свердловин

Отриманий економічний результат. Завдяки збільшенню фактичного комерційного успіху буріння на 35 процентних пунктів серед 14 свердловин, пробурених після 2016 року, 5 додатково стали комерційними. За середнього фактичного дебіту однієї свердловини 26,7 тис. м³ газу/добу із цих свердловин було додатково видобуто 71,8 млн м³ газу, а отриманий прямий прибуток становив близько 25,1 млн USD. За фактичної вартості робіт 2,3 млн USD рентабельність інвестицій за цим показником становила 1091%.

Якби, починаючи з 2005 року, компанія дотримувалася рекомендацій і бурила свердловини виключно у межах закартованих покладів, вона отримала б додатковий дохід у розмірі 100,7 млн USD, зокрема 28,9 млн USD – вартість буріння 7 додаткових комерційних свердловин замість сухих та 71,8 млн USD – вартість додатково видобутого газу.

Економічний ефект програми буріння 2026 року за нової пошукової парадигми. У разі застосування нової парадигми для буріння всіх 135 свердловин витрати на картування всіх комерційних покладів становили б 3% від бюджету буріння – приблизно 25 млн USD. Збільшення комерційного успіху буріння до 86% для пошукових і 95% для видобувних свердловин скоротило б кількість сухих свердловин відповідно на 8 пошукових і 10 видобувних. Це забезпечило б дохід 214 млн USD: 122 млн USD від буріння додаткових комерційних свердловин і 92 млн USD від додаткового видобутку газу. З урахуванням витрат гарантований чистий економічний ефект становив би 189 млн USD, рентабельність інвестицій – 756%. Приріст запасів становив би 3,65 млрд м³ вартістю 1,3 млрд USD, а заміщення видобутих запасів – 120%.

Ресурсна база для подвоєння запасів і видобутку до 2032 року. УГВ має три джерела ресурсів: дорозвідка і геолого-технічні заходи на родовищах, що розробляються; пошукові роботи у межах уже відомих нафтових систем; нові нафтогазоносні басейни та ще не відкриті нафтові системи. Перше джерело має мінімальний ризик, але обмежений потенціал; друге – середній ризик і потенціал; третє – найбільший ризик і потенціал для збільшення запасів та видобутку й є основним джерелом подвоєння запасів (рис. 10).

Результати 30 років досліджень і понад 89 виконаних проєктів із картування комерційних покладів довільного морфологічного типу, походження та глибини, перевірених бурінням понад 100 свердловин, дали можливість провести незалежну кількісну оцінку загальних ресурсів України приблизно у 32 млрд т умовного палива.

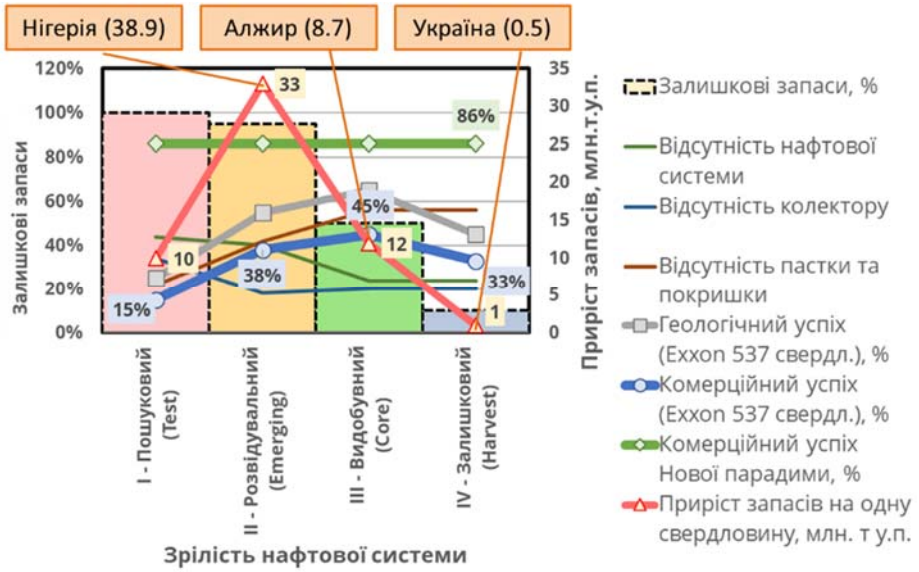


Рис. 10. Нові нафтові системи та нова пошукова парадигма забезпечать подвоєння запасів та видобутку вуглеводнів в Україні до 2032 року

Найбільший закартований комерційний поклад газу «Камбала» із ресурсами 2,1 трлн м³ приурочений до турбідитних відкладів глибоководної частини Чорного моря. На суходолі найбільш перспективним є новий для України тип геологічних утворень – переміщені блоки перекриття соляних діапірів «Карапаси» із ресурсами 59,3 млрд м³. На Марченківській і Тарханівській ліцензійних ділянках ДДЗ закартовано неструктурні поклади газу з ресурсами 24,8 млрд м³ та нафти 18,4 млн т (рис. 11).



Рис. 11. Ресурси вуглеводнів України, закартовані в результаті застосування нової пошукової парадигми, є основою для подвоєння запасів і видобутку вуглеводнів УГВ

Пропозиції щодо системного впровадження нової пошукової парадигми. Для переходу до виробничого застосування нової пошукової парадигми необхідно укласти між АТ «Укргазвидобування» та НТК «ДЕПРОІЛ ЛТД.» генеральну багаторічну угоду про надання сервісних послуг. Вона має охоплювати щорічне визначення пріоритетних ліцензійних ділянок, формування програм робіт, проведення польових та свердловинних гравіметричних досліджень, побудову 3D-моделей реальної густини порід, картування комерційних покладів вуглеводнів, визначення видобувних і дренованих запасів та початкових дебітів, обґрунтування положення і глибини свердловин, контроль результатів

буріння, створення хмарного сервісу цифрових моделей комерційних покладів вуглеводнів, оновлення моделей комерційних покладів для наступних циклів буріння.

Враховуючи значний комерційний успіх буріння нової пошукової парадигми, оптимальною є фінансова модель, яка передбачає базову вартість сервісних послуг і винагороду за підтверджений комерційний результат після отримання комерційного статусу свердловин. Середня базова вартість робіт становить 3% від вартості буріння свердловин.

Для забезпечення у 2027 році зменшення кількості сухих свердловин на ділянках, де раніше були закартовані комерційні поклади вуглеводнів, необхідно уточнити контури і параметри цих покладів з урахуванням нового буріння та перевірити положення запланованих для буріння свердловин, щоби вони не виходили за межі комерційних покладів у плані та за глибиною.

Розпочати розроблення і реалізацію програми пошуку значних за запасами неструктурних та діагенетичних комерційних покладів під великими діючими родовищами, такими як Шебелинківське та Зх.-Хрестищенське на сході, Дашавське та Більче-Волицьке на заході, а також ділянок угод про розподіл продукції – УРП.

Висновки. Результати 20-річної співпраці з АТ «Укргазвидобування» підтвердили ефективність нової пошукової парадигми кількісного картування комерційних покладів вуглеводнів до буріння. У 2000–2019 роках на 20 ліцензійних ділянках закартовано 109 комерційних покладів із ресурсами 175,9 млрд м³ газу та 18,4 млн т нафти і запропоновано буріння 85 свердловин. У межах закартованих покладів комерційний успіх буріння та випробувань становив 76% і 63%, а за їх межами – 42% і 14%; використання рекомендацій дозволило відкрити нові родовища і поклади та збільшити фактичний комерційний успіх буріння компанії з 28% до 63%. Додатковий видобуток газу приніс 25,1 млн USD прибутку за вартості робіт 2,3 млн USD, а для програми буріння 2026 року гарантований чистий економічний ефект нової парадигми становить 189 млн USD за коефіцієнта заміщення запасів 120%.

Список використаних джерел:

Collard, J., 2026. The State of Exploration in 2026. 87th EAGE Annual Conference & Exhibition, Aberdeen, Scotland. https://doi.org/10.3997/2214-4609.202610860

Фірман М. А., 2019. Стан та перспективи нарощування ресурсної бази найбільшої газовидобувної компанії України. Звіт директора з питань геології АТ «Укргазвидобування». Київ, 2019. С. 32.

АТ «Укргазвидобування», 2021. Протокол АТ «Укргазвидобування» про випробування технології «Технології інтегральної інтерпретації комплексу гравіметричних, магнітометричних, сейсмічних та свердловинних даних для пошуків та розвідки нафтових і газових родовищ» № 21-09-23-01 від 07 вересня 2021 року. С. 22.

Milkov, A.V., 2021. Reporting the expected exploration outcome: When, why and how the probability of geological success and success-case volumes for the well differ from those for the prospect. Journal of Petroleum Science and Engineering 204, 108754.

Rose, P. R., 1987, Dealing with risk and uncertainty in exploration--how can we improve?: AAPG Bulletin, v. 71, n. 1, p. 1-16. https://wiki.aapg.org/Risk:_expected_value_and_chance_of_success

Rudolph, K.W., & Goulding, F.J., 2017. Benchmarking Exploration Predictions and Performance Using 20+ Years of Drilling Results: One Company's Experience. AAPG Bulletin 101(2), 161–176. doi:10.1306/06281616060

Ткачук Ю.П., 2026. «Ключові завдання УГВ на поточний рік: розвиток ресурсної бази»: доповідь на XIII Міжнародній нафтогазовій конференції Ньюфолк НКЦ, 28 травня 2026 року, м. Львів.

References

Collard, J. (2026). The State of Exploration in 2026. 87th EAGE Annual Conference & Exhibition, Jun 2026, Aberdeen, Scotland. https://doi.org/10.3997/2214-4609.202610860

Firman, M. A. (2019). Status and potential for expanding the resource base of Ukraine's largest gas producer. Report by the Director of Geology [Conference presentation], JSC "Ukrgazvydobuvannya." Kyiv, 2019, 32. [In Ukrainian]

JSC "Ukrgazvydobuvannya". (2021). Minutes of JSC "Ukrgazvydobuvannya" on the testing of the technology of "Integrated interpretation of gravimetric, magnetometric, seismic, and well data for exploration of oil and gas fields" No. 21-09-23-01 dated September 7, 22. [Unpublished]

Milkov, A.V. (2021). Reporting the expected exploration outcome: When, why and how the probability of geological success and success-case volumes for the well differ from those for the prospect. Journal of Petroleum Science and Engineering 204, 108754. doi: 10.1016/j.petrol.2021.108754. https://www.researchgate.net/publication/350605442_Reporting_the_expected_exploration_outcome_When_why_and_how_the_probability_of_geological_success_and_success-case_volumes_for_the_well_differ_from_those_for_the_prospect#fullTextFileContent.

Rose, P. R. (1987) Dealing with risk and uncertainty in exploration--how can we improve?: AAPG Bulletin, 71 (1), 1-16. https://doi.org/10.1306/94886D30-1704-11D7-8645000102C1865D. https://wiki.aapg.org/Risk:_expected_value_and_chance_of_success

Rudolph, K.W., & Goulding, F.J. (2017). Benchmarking Exploration Predictions and Performance Using 20+ Years of Drilling Results: One Company's Experience. AAPG Bulletin 101(2), 161–176. doi:10.1306/06281616060. https://www.researchgate.net/publication/305992674_Benchmarking_Exploration_Predictions_and_Performance_Using_20_Years_of_Drilling_Results_One_Company's_Experience#fullTextFileContent

Tkachuk, Y. P. (2026, May, 28). Key Tasks for Ukrgazvydobuvannya for the current year: development of the resource base [Conference presentation] XIII International Oil and Gas Conference, Newfolk NKC, Lviv, Ukraine. [In Ukrainian]

УДК 553. 98.048

КОРИСНІ КОПАЛИНИ ЗАКАРПАТСЬКОЇ ОБЛАСТІ: СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ ОПТИМІЗАЦІЇ ЇХ ВИКОРИСТАННЯ

Поп С.С.*[1] *, д. фіз.-мат. н., проф., popstepan7@gmail.com;
***Федів І.Я.*[2]*,** Iryna.Fediv@ukrnafta.com,*
1 – Ужгородський національний університет, м. Ужгород, Україна,
2 – ПАТ «Укрнафта», м. Івано-Франківськ, Україна

Розглянуто потенціал розвіданих запасів корисних копалин Закарпатської області. Проаналізовано сучасний стан їх використання. Вказано на окремі проблеми щодо раціональності надрокористування та необхідність покращення ефективності розвитку галузі, впровадження сучасних технологій переробки і ощадного використання надр Закарпаття в контексті збалансованого розвитку місцевих територіальних громад та суспільства загалом.

Ключові слова: корисні копалини, Закарпатська область, раціональне надрокористування.

MINERAL RESOURCES OF ZAKARPATTIA OBLAST: CURRENT STATUS AND PROSPECTS FOR OPTIMIZING THEIR USE

***Pop S.*[1]*,** Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof, popstepan7@gmail.com;*
***Fediv I.*[2]*,** Iryna.Fediv@Ukrnafta.com,*
1 – PHEI «Uzhgorod National University», Uzhgorod, Ukraine,
2 – SC "Ukrnafta", Ivano-Frankivsk, Ukraine

The potential of explored mineral reserves in Zakarpattia Oblast has been examined, and the current state of their utilization has been analyzed. The main problems related to the rational use of mineral resources have been identified, including the need to improve the efficiency of developing the mineral resource base, introduce modern technologies for the extraction and processing of mineral resources, and ensure their sustainable and efficient use. The importance of improving approaches to mineral resource management based on the principles of balanced development of local territories, territorial communities, and society as a whole has been substantiated.

Keywords: mineral resources, Zakarpattia Oblast, mineral resource base, mineral resource management, rational resource use, balanced development.

Вступ. Надрокористування в Україні зазнало величезних втрат через окупацію частини південних і східних територій та безпекові труднощі або ж повну неможливість розробки родовищ корисних копалин у зоні бойових дій. Водночас галузь законодавчо реформується, адаптується до викликів воєнного стану, залучає інвестиції і запроваджує міжнародні екологічні стандарти в роботу підприємств, продовжує розвиватися і проводити наукові національні й міжнародні форуми [1-3]. Зважаючи на безпекову ситуацію активізується діяльність галузі у центральних і західних регіонах країни, зокрема в Закарпатській області. В даній роботі проаналізовано потенціал розвіданих запасів корисних копалин Закарпаття та раціональність їх використання в контексті збалансованого розвитку суспільства. Це є одним із найважливіших завдань комплексного розвитку найзахіднішого регіону України, що межує та успішно розвиває транскордонне співробітництво з чотирма країнами-сусідами Європейського Союзу. Більшість розвіданих родовищ Закарпаття мають сировину багатоцільового призначення. Створення різних виробництв з використанням власної сировинної бази повинно стати основою майбутнього індустріального розвитку економіки області. З огляду на специфіку Закарпаття як гірської високоенергетичної і динамічної території, яка вразлива до порушення екологічної рівноваги (паводки, зсуви, підтоплення, карст тощо), наголошено на необхідності чіткого дотримання вимог чинного природоохоронного законодавства при промисловому освоєнні розвіданих родовищ корисних копалин [4].

Виклад основного матеріалу. Серед областей України Закарпаття, яке має найкращий природний потенціал не відноситься до найбільш багатих на мінерально-сировинні ресурси.. Однак, зважаючи на відносно малу питому площу території Закарпаття (всього 2,1 % від загальної площі країни в межах до 2014 року) має значний ресурс. Станом на 01.01.2025 року в області розвідані 285 родовищ, у яких наявні 27 типів промислово

значущих речовин. Серед них, зокрема 2 родовища дорогоцінних металів (золото, срібло), 3 – кольорових металів (свинець, цинк), 4 – кіноварі, 12 – природного газу, 4 – вугілля, 5 – глини бентонітоваої, 2 – каоліну, 3 – солі кам'яої; 3 – цеоліту, а також значна кількість родовищ різноманітних будівельних матеріалів (андезиту, андезито-базальту, мармуру, перліту, глини тугоплавкої, цегельно-черепичної тощо) [5, 6]. Важливо зазначити, що буре вугілля-легніт Біганського родовища має великий вміст германію (в середньому 182 г/т), матеріалу цінного для електронної промисловості. Це єдине родовище германію на Україні і його розробка економічно вигідніша та екологічно безпечніша ніж розробка Берегівського родовища поліметалічних руд з вмістом золота, яка призвела до екологічного лиха через недотримання безпеки щодо впливу на довкілля та недостатнього нагляду з боку державних спеціально уповноважених органів.

Мінеральні води виявлені в 562 свердловинах і джерелах у всіх районах області. Розвідані мінеральні води різні за хімічним складом і цілющими властивостями широко використовуються для лікування в багатьох санаторних та оздоровчих закладах області, а також видобуваються на розлив для реалізації як на внутрішньому, так і на зовнішньому ринках [5, 6], Виявлено також термальні і субтермальні води в 41 свердловині переважно в низинних зонах Берегівського, Мукачівського, Ужгородського й Хустського районів. В теперішній час геотермальні води широко використовуються в основному для бальнеології в оздоровчих комплексах. Побудовано та ефективно функціонують потужні рекреаційно-оздоровчі комплекси «Термальні води Косино», «Еко-Термал», «Жайворонок» і «Теплиця» на Берегівщині, «Золота гора», «Термал-Стар» і «Деренівська купіль» на Ужгородщині, аквапарк «Карпатія» в м. Мукачево, «Теплі води» та «Ріка Хуст» на Хустщині та ін. Однак нічого не зроблено поки що для використання геотермальних вод з температурою понад 100 градусів Цельсія. Відомо, що теплове поле в межах окремих локальних ділянок Закарпаття перевищує 200 градусів Цельсія. До того ж варто зазначити, що геотермальні води містять такі важливі хімічні елементи як літій, кремній, бром, йод та ін., тому перспективним є вирішення питання комплексного використання запасів геотермальних ресурсів, зокрема унікального Залужанського родовища. Експлуатаційні запаси потенціалу геотермальних вод Чопсько-Мукачівської западини оцінено в $284{,}10^9$ ккал на рік. Доцільно використати ці унікальні багатства комплексно. Наприклад, як уже зазначав А. Локтєв, спочатку перегріту гарячу воду (пар) використати для виробництва водню, потім тепловий ресурс скерувати на турбіну електрогенератора, а далі, знизивши температуру води нижче 90 градусів Цельсія, використати її для обігріву теплиць, господарських будівель, басейнів, ставків тощо [7]. Саме на Іршавщині дуже багато теплиць, позаяк більшість населення місцевих поселень традиційно займається вирощуванням ранніх овочів.

Види корисних копалин Закарпатської області та кількісні показники запасів сировини у родовищах, а також їх доля в сировинних запасах України і ступінь розробки обліковані в Державному балансі запасів. Наразі з відомих причин не приводимо ці дані. Зазначимо тільки, що саме в Закарпатті: затверджені та частково видобуваються запаси таких копалин як золото, срібло, цинк, свинець і германій; має єдині в Україні родовища цеолітів, а їх запаси є одними з найбільших у світі; що тільки тут наявна цінна руда бариту; володіє колосальним сировинним потенціалом матеріалів для оздоблення і будівництва (мармури, мармуризовані вапняки, декоративні туфи, андезити і андезито-базальти, вапняки тощо). Не продовжуючи перелік, зрозуміло, що наш край не випадково називають «Срібною землею». Однак до цих пір ми не спромоглися розумно цим скористатися. І це, можливо, на щастя нашим дітям і онукам, які більш відповідальніше розроблятимуть родовища природозберігаючими технологіями.

Будівельні корисні копалини представлені у Закарпатті надзвичайно широкою гамою різних родовищ, з яких відносно багато розробляється. Значна частина цінних будівельних корисних копалин повністю (100%) знаходиться у Закарпатті. Це:

- сировина на скло (ліпарит – 20,7 млн. т);

- облицювальні матеріали з каменю (доломіт мармуризований – 3,0 млн. м^3, туф – 7,8 млн. м^3, андезит – 2,6 млн. м^3, ліпарит – 0,5 млн. м^3);

- будівельний камінь (андезит – 164,3 млн. м^3, вапняк – 0,2 млн. м3, доломіт – 0,8 млн. м^3, пісковик – 4,7 млн. м^3, перлітова сировина – 48,0 млн. м^3).

За останні роки помітна тенденція зростання видобутку дациту, вапняку, піску, бентонітової глини, каоліну, андезиту, водночас зменшується видобуток мармуру, цеоліту, доломіту. Адже там, де ми до тепер видобували будівельні і оздоблювальні матеріали, сіль, золото, кіновар маємо порушені і здебільшого не рекультивовані землі відпрацьованих кар'єрів, вторинні родовища із відвалів та навіть зони точкового екологічного лиха (смт. Солотвино і с. Мужієво). Чимало порушень в надрокористуванні мають місце щодо несанкціонованого добування піщано-гравійних сумішей та збирання річкових камінців різних розмірів (їх можна бачити на торгівельних складах будматеріалів навіть у Києві) у заплавах річок. Звичайно, якби ми не тільки бездумно брали у природи, але й належно дбали про неї, то могли б від цього багатства мати значний економічний зиск. А поки-що «маємо те, що маємо» – одну з слабо індустріально розвинутих областей із чималими екологічними проблемами при тому, що область має найкращий природно-ресурсний потенціал серед регіонів країни.

За останній період не спостерігається позитивна динаміка розвитку гірничовидобувній галузі. По-перше низькі темпи геологорозвідувальних робіт через недостатність фінансових ресурсів. По-друге, приватизація в гірничовидобувній галузі призвела до суттєвого зменшення державних підприємств і погіршився державний нагляд за діяльністю приватних акціонерів і підприємств, що стали надрокористувачами. По-третє, ще недостатньо привабливий клімат для інвестиційної діяльності, розвитку підприємництва, активізації замовлення розвідки, видобування та переробки сировини за сучасними природозберігаючими технологіями. По-четверте переважно негативні зміни у сфері використання і розвідки корисних копалин, особливо горючих. Через недієвий державний контроль та нагляд за надрокористуванням. Маємо негативні приклади експлуатації Берегівського золото-поліметалічного родовища, родовища солі в смт. Солотвино та інших. Як наслідок, в гірничодобувній та переробній галузях не спостерігається позитивна динаміка уже впродовж тривалого періоду.

Висновки. Наявність в області розвіданих копалин, на які є значний попит як в Україні, так за її межами, а також цінної сировини для розвитку виробництв, зокрема скла, фарфору і фаянсу, виготовлення облицювальних плит із мармурів та туфів різних відтінків, у т.ч. і світлих, виробів із цеоліту, перліту тощо створює добрі передумови для добування сировини, яка важлива для розвитку промисловості області на власній сировинній базі. Це важливий економічний чинник для сталого розвитку області. Орієнтація розвитку області виключно на використання її природно-ресурсного потенціалу для оздоровлення і туризму є стратегічно хибною. Раціональне використання, наприклад, унікальних покладів цеолітів або легніту чи геотермального ресурсу може бути екологічно безпечним і прибутковим та не заважати розвитку туризму. Останній потребує також зваженого урахуванням ємності природних комплексів щодо рекреаційного навантаження. Справа за ефективними менеджерами, які вміють отримати результат для нинішнього покоління і подбати про довкілля для нащадків.

Досягнення збалансованого розвитку регіону неможливе без забезпечення ефективного екологічно безпечного використання всього комплексу наявних ресурсів та на їх базі структурно-технологічної модернізації і перебудови всього виробництва (промисловості, енергетики, сільського господарства, будівництва, транспорту) та соціальної сфери. Це вимагає застосування новітніх екологічно чистих та ресурсно- і енергозберігаючих технологій, а також підвищення рівня екологічної свідомості і культури населення, у тому числі щодо обмежень на стан технологій з урахуванням можливостей природного середовища.

Список використаних джерел:

1. Закон України № 2805-IX "Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо удосконалення законодавства у сфері користування надрами". Офіційний вісник України від 10.01.2023 – 2023 р., № 2, стор. 99, стаття 85, код акта 115714/2022.

2. Інвестиційний атлас Закарпатської області. 2025. URL: https://www.geo.gov.ua/wp-content/uploads/presentations/atlas/invest-atlas-zakar pattia-oblast.pdf (дата звернення: 06.04.2025).

3. Стратегія розвитку Закарпатської об-ласті на період до 2027 року. 231 с. URL: https://carpathia.gov.ua/storage/app/sites/21/Economics/2024/Strategi 2027 Transcarpathia.pdf (дата звернення: 08.04.2025).

4. Кодекс України про надра. Відомості Верховної Ради України від 06.09.1994 – 1994 р., № 36, стаття 340. https://www.facebook.com/InsGeoUA/posts/- (дата звернення: 01.04.2025).

5. Корисні копалини Закарпатської об-ласті. Інститут Геології. 2024. URL: https://zakarpattya.net.ua/News/82892-Mineralno-syrovynni-resursy-Zakarpattia-derzhavnoho-znachennia (дата звернення: 03.04.2025).

6. Мінерально-сировинні ресурси Закарпаття державного значення. Закарпаття онлайн. 2025. URL: https://zakarpattya.net.ua/News/ 82892-Mineralno-syrovynni-resursy-Zakarpattia-derzhavnoho-znachennia (дата звернення: 05.04.2025).

7. Локтєв А.А. Теплове поле, досвід та перспективи використання геотермальних ресурсів Закарпатського прогину. Матер. 6-ої Міжн. конф. «Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування», т2., Трускавець, 2019 р. – С.326-328.

References

Development Strategy of Zakarpattia Oblast for the Period up to 2027. 231 p. Available at: https://carpathia.gov.ua/storage/app/sites/21/Economics/2024/Strategi%202027%20Transcarpathia.pdf (accessed April 8, 2025).

Investment Atlas of Zakarpattia Oblast. 2025. Available at: https://www.geo.gov.ua/wp-content/uploads/presentations/atlas/invest-atlas-zakarpattia-oblast.pdf (accessed April 6, 2025).

Mineral Resources of Zakarpattia Oblast. Institute of Geology. 2024. Available at: https://zakarpattya.net.ua/News/82892-Mineralno-syrovynni-resursy-Zakarpattia-derzhavnoho-znachennia (accessed April 3, 2025).

Mineral Resources of National Importance of Zakarpattia. Zakarpattia Online. 2025. Available at: https://zakarpattya.net.ua/News/82892-Mineralno-syrovynni-resursy-Zakarpattia-derzhavnoho-znachennia (accessed April 5, 2025).

Law of Ukraine No. 2805-IX “On Amendments to Certain Legislative Acts of Ukraine Concerning the Improvement of Legislation in the Field of Subsoil Use.” Official Gazette of Ukraine, 2023, No. 2, p. 99, Article 85, Act Code No. 115714/2022.

Loktiev, A. A. “Thermal Field, Experience and Prospects for the Use of Geothermal Resources of the Zakarpattia Depression.” Proceedings of the 6th International Conference ‘Subsoil Use in Ukraine: Investment Prospects’ Vol. 2, Truskavets, 2019, pp. 326–328.

Subsoil Code of Ukraine. Bulletin of the Verkhovna Rada of Ukraine, 1994, No. 36, Article 340. Available at: https://www.facebook.com/InsGeoUA/posts/- (accessed April 1, 2025).

UDC 615.838:614.2

THE STATE CADASTRE OF NATURAL THERAPEUTIC RESOURCES IN EVIDENCE-BASED BALNEOLOGY AND ITS INTERACTION WITH THE NATIONAL HEALTH SERVICE OF UKRAINE

***Tsurkan O.I.*[1]**, *Cand. Sci. (Geogr.), senior researcher,ORCID ID* 0000-0002-7816-5425, *otsurkan75@gmail.com*,
***Babov K.D.*[1]**, *Dr. Sci. (Med.), Prof., ORCID ID 0000-0003-2066-6152, mrik.odessa@gmail.com,*
***Morachov O.V.*[2]**, *ORCID ID 0009-0004-6044-3222, a.v.morachev@gmail.com*
1 – State Non-profit Enterprise «Ukrainian Research Institute of Rehabilitation and Resort Therapy of the Ministry of Health of Ukraine», Odesa, Ukraine,
2 – Ministry of Health of Ukraine, Kyiv, Ukraine

The article substantiates the need to modernise Ukraine's health resort legislation and implement the State Cadastre of Natural Therapeutic Resources as a basis for integrating these resources into the evidence-based medicine system and for interaction with the National Health Service of Ukraine (NHSU) in the context of European integration. The current Law of Ukraine "On Resorts" no longer meets contemporary challenges, while establishing the State Cadastre of Natural Therapeutic Resources is an objective necessity and a fundamental prerequisite for economic and medical activities. Based on a comparative analysis of European experience in Germany and Poland, the model demonstrates effectiveness: natural resources are granted the status of therapeutic agents, and their registration in state registers provides a mandatory legal basis for prescribing balneotherapy and for reimbursement by national insurance funds.

Particular emphasis is placed on the importance of a scientific system for the medical and biological assessment of natural therapeutic resources in accordance with the requirements of the Ministry of Health of Ukraine, which transforms a natural resource into an evidence-based therapeutic factor. The digitalisation of the State Cadastre of Natural Therapeutic Resources and its integration into the National Geospatial Data Infrastructure will ensure transparency for investors, data accessibility for European partners, and a reliable foundation for future interaction with the National Health Service of Ukraine. Legislative modernisation and harmonisation with European Spa Association standards will ensure patient safety and transform the health resort sector into a highly competitive part of the economy.

Keywords: natural therapeutic resources, State Cadastre of Natural Therapeutic Resources, balneology, evidence-based medicine, National Health Service of Ukraine.

Introduction. Effective functioning of the health resort sector and the provision of high-quality medical services involving natural therapeutic resources require modern legal regulation. The current Law of Ukraine "On Resorts" of October 5, 2000 (Law of Ukraine No. 2026-III, 2000) has, by now, exhausted its conceptual potential and no longer meets contemporary challenges. An urgent need exists to adopt a new version of the law that would establish the State Cadastre of Natural Therapeutic Resources as a mandatory legal basis for any economic or medical activity at health resorts. Accordingly, this study aims to substantiate the need for legislative modernisation of Ukraine's health resort sector, the implementation of the State Cadastre of Natural Therapeutic Resources, and its integration into the European framework of evidence-based balneology and national healthcare systems (NHSU). To achieve this aim, the study used a combination of general scientific and specialised methods, including systems analysis (to assess the current state of domestic legislation and identify conceptual gaps in the Law "On Resorts") and comparative legal analysis (to compare Ukrainian practice with European standards in Germany and Poland).

In leading European Union countries, natural mineral and thermal waters, therapeutic muds, and ozokerite are classified not merely as ordinary mineral resources but as officially recognised "natural medicinal products" (Heilvorkommen / Heilwasser). In Germany, the Medicinal Products Act (Arzneimittelgesetz, AMG) (Arzneimittelgesetz, 2005) and the provisions governing mineral waters (Mineral- und Tafelwasserverordnung) regulate the status and control of these resources. In contrast, Poland regulates them under the Act on Spa Treatment, Health Resorts and Areas of Spa Protection (Ustawa o lecznictwie uzdrowiskowym, uzdrowiskach i obszarach ochrony uzdrowiskowej) (Ustawa o lecznictwie uzdrowiskowym..., 2005). Although Ukraine also legally defines natural therapeutic resources, state regulation has long been limited primarily to the

extraction and preservation of the resources themselves. At the same time, providing medical services requires systematically integrating them into clinical protocols and evidence-based medicine.

In accordance with the requirements of Order No. 243 of the Ministry of Health of Ukraine dated June 2, 2003 (Ministry of Health of Ukraine, 2003), a scientific system of medical and biological assessment based on preclinical studies and clinical trials demonstrating the safety, efficacy, mechanisms of action, and specific balneological effects of a natural factor transforms a natural resource into a natural therapeutic factor. Based on these studies, a medical (balneological) conclusion is prepared, and instructions for practical use are approved, defining the indications, contraindications, and therapeutic methods. This ensures patient safety and aligns Ukrainian balneology with leading European standards.

The experience of Germany and Poland confirms the significant role of state registers and institutional oversight. In Germany, the register of certified therapeutic waters (Heilwasser-Verzeichnis) is coordinated by the Association of German Mineral Water Producers (Verband Deutscher Mineralbrunnen e.V.), with the participation of the Federal Institute for Drugs and Medical Devices (BfArM) and accredited laboratories (SGS Institut Fresenius, Institut Romeis). In Poland, the Ministry of Health maintains the Register of Health Resorts and Spa Protection Areas (Rejestr uzdrowisk...) as the mandatory legal basis for prescribing balneotherapy and its subsequent reimbursement through national funds (GKV/DRV in Germany and NFZ in Poland).

The State Cadastre of Natural Therapeutic Resources, administered by the Ukrainian Research Institute of Rehabilitation and Balneology of the Ministry of Health of Ukraine, creates a comparable reliable legal framework. Its digitalisation and full integration into the National Geospatial Data Infrastructure (NGDI) (Law of Ukraine No. 554-IX, 2020; Cabinet of Ministers of Ukraine, 2021) will ensure quality control of natural therapeutic resources, provide a reliable basis for contracting with the National Health Service of Ukraine (NHSU), and increase transparency for investors and European partners.

The digitalisation of the State Cadastre of Natural Therapeutic Resources and its integration with the NGDI will enable the creation of a unified digital medical profile for each health resort and health resort institution as a full-fledged participant in the healthcare guarantees system. This will enable the National Health Service of Ukraine to automatically verify the availability of an established evidence base, valid medical (balneological) conclusions concerning natural therapeutic resources (in accordance with Order No. 243 of the Ministry of Health of Ukraine), and compliance of the material and technical infrastructure with modern rehabilitation protocols. As a result, contracting healthcare institutions to provide rehabilitation care during the post-acute and long-term periods will become transparent, manageable, and fully linked to the health resort's actual therapeutic properties.

The conceptual basis for these changes is the European approach of the European Spas Association (ESPA), which envisages introducing unified quality criteria and fully integrating spa medicine into national healthcare systems as an effective method of primary prevention and rehabilitation.

Conclusions. Legislative modernisation of the Law of Ukraine “On Resorts,” development of the State Cadastre of Natural Therapeutic Resources, and harmonisation of national standards with the requirements of the European Spas Association (ESPA) will make it possible to eliminate existing legal inconsistencies, integrate balneotherapy into the evidence-based medicine system, and bring Ukraine’s health resort sector to a European level of competitiveness.

Further development and digitalisation of the State Cadastre of Natural Therapeutic Resources provide the basis for:

1. Ensuring state guarantees of quality and patient safety based on the principles of evidence-based medicine.
2. Harmonising national standards with ESPA requirements and EU directives.
3. Creating transparent conditions for investors, expanding treatment opportunities, and transforming the health resort sector into a highly profitable sector of Ukraine’s economy.

References

Arzneimittelgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 12. Dezember 2005 (BGBl. I S. 3394), das zuletzt durch Artikel 2 des Gesetzes vom 23. Oktober 2024 (BGBl. 2024 I Nr. 324) geändert worden ist.

Cabinet of Ministers of Ukraine. (2021, May 26). *Deyaki pytannya funktsionuvannya natsional'noyi infrastruktury heoprostrovykh danykh* [Certain issues of functioning of the National Geospatial Data Infrastructure] (Resolution No. 532). *Uryadovyy kur'yer*, (105) [in Ukrainian].

Ministry of Health of Ukraine. (2003, June 2). *Pro zatverdzhennya Poryadku medyko-biolohichnoyi otsinky pryrodnykh likuval'nykh resursiv, vyznachennya yikh novykh vydiv ta aprobatsiyi metodyk yikh vykorystannya* [On approval of the procedure for medical and biological assessment of natural therapeutic resources, determination of their new types and approval of methods for their use] (Order No. 243) [in Ukrainian].

Parliament of Ukraine. (2000, October 5). *Pro kurorty* [On resorts] (Law No. 2026-III). *Vidomosti Verkhovnoyi Rady Ukrayiny*, (50), Article 435 [in Ukrainian].

Parliament of Ukraine. (2020, April 13). *Pro natsional'nu infrastrukturu heoprostrovykh danykh* [On the National Geospatial Data Infrastructure] (Law No. 554-IX). *Vidomosti Verkhovnoyi Rady Ukrayiny*, (30), Article 238 [in Ukrainian].

Ustawa o lecznictwie uzdrowiskowym, uzdrowiskach i obszarach ochrony uzdrowiskowej oraz o gminach uzdrowiskowych z dnia 28 lipca 2005 r. (2005). *Dziennik Ustaw*, (167), Item 1399 (tekst jednolity: Dz.U. 2025 poz. 1135).

УДК 622.279.5

СТОХАСТИЧНІ І ДЕТЕРМІНІСТИЧНІ МЕТОДИ МОДЕЛЮВАННЯ ПОКЛАДІВ ВУГЛЕВОДНІВ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКОВОГО ПОТЕНЦІАЛУ РОДОВИЩ НА ПІЗНІЙ СТАДІЇ РОЗРОБКИ

***Боднарук Б.Р.**, bohdan.bodnaruk@ugv.com.ua;*
***Матківський С.В.**, доктор філософії (Ph.D), serhii.matkivskyi@ugv.com.ua;*
Акціонерне Товариство «Укргазвидобування», м. Київ, Україна.

На пізній стадії розробки родовищ вуглеводнів визначення залишкового потенціалу потребує застосування сучасних методів 3D-моделювання. У роботі розглянуто особливості застосування детерміністичних і стохастичних підходів до моделювання покладів в умовах обмеженого комплексу геофізичних та гідродинамічних досліджень. Описано специфіку та обмеження моделювання фацій, глинистості, пористості, проникності та ефективної товщини. Показано, що детерміністичний метод дозволяє відобразити розуміння розповсюдження об'ємів запасів у міжсвердловинному просторі на основі наявних даних із урахуванням їх обмежень. Стохастичні методи (послідовна індикаторна симуляція, послідовна гауссова симуляція, усічена гауссова симуляція, багатоточкова статистика) дають змогу шляхом генерації множини реалізацій оцінити просторове поширення фацій і розподіл залишкових запасів у межах уже дренованих покладів, ідентифікувати зони, менш залучені до розробки, або нові перспективні ділянки. Розроблені підходи апробовані на об'єктах АТ «Укргазвидобування» та впроваджуються при побудові постійно діючих геолого-технологічних моделей.

Ключові слова: 3D модель, детерміністичне моделювання, стохастичне моделювання, фації, пористість, проникність, залишкові запаси, пізня стадія розробки

STOCHASTIC AND DETERMINISTIC METHODS OF MODELING HYDROCARBON RESERVOIRS FOR DETERMINING THE RESIDUAL POTENTIAL OF FIELDS AT THE LATE STAGE OF DEVELOPMENT

***Bodnaruk B.**, bohdan.bodnaruk@ugv.com.ua;*
***Matkivskyi S.**, Doctor of Philosophy (Ph.D), serhii.matkivskyi@ugv.com.ua;*
JSC Ukrgasvydobuvannya, Kyiv, Ukraine

At the late stage of hydrocarbon field development, determining residual potential requires the application of modern 3D modeling methods. The paper considers the features of applying deterministic and stochastic approaches to reservoir modeling under limited geophysical and hydrodynamic research complexes. The specifics and limitations of modeling facies, clay content, porosity, permeability and effective thickness are described. It is shown that the deterministic method allows reflecting the understanding of the distribution of reserve volumes in the interwell space based on available data, taking into account their limitations. Stochastic methods (sequential indicator simulation, sequential Gaussian simulation, truncated Gaussian simulation, multiple-point statistics) make it possible, through the generation of multiple realizations, to assess the spatial distribution of facies and residual reserves within already drained deposits, to identify zones less involved in development or new promising areas. The developed approaches have been tested on the facilities of JSC Ukrgasvydobuvannya and are being implemented in the construction of continuously operating geological and technological models.

Key words: 3D model, deterministic modeling, stochastic modeling, facies, porosity, permeability, residual reserves, late stage of development

Вступ. На пізній стадії розробки родовищ вуглеводнів актуальним завданням є визначення залишкового потенціалу та виявлення зон, які недостатньо залучені до дренування. Класичні методи (матеріальний баланс, криві падіння видобутку) не завжди забезпечують достатню точність в умовах значної неоднорідності колекторів. Широке застосування отримали тривимірні геолого-технологічні моделі, які інтегрують геологічні, геофізичні та промислові дані.

Особливістю багатьох родовищ АТ «Укргазвидобування» є обмежений комплекс геофізичних досліджень свердловин та гідродинамічних досліджень, що створює суттєві невизначеності при побудові 3D-моделей. У таких умовах критично важливим є обґрунтований вибір між детерміністичними та стохастичними підходами до моделювання основних параметрів: фацій, глинистості, пористості, проникності та ефективної товщини.

Метою роботи є порівняльний аналіз особливостей і обмежень детерміністичних та стохастичних методів моделювання покладів вуглеводнів для оцінки залишкового потенціалу на пізній стадії розробки.

Виклад основного матеріалу. Побудова 3D-моделі покладу в умовах обмеженої інформації базується на наявних даних каротажу, керну, сейсморозвідки (за наявності) та історії розробки. Моделювання ключових параметрів має низку особливостей і обмежень.

Моделювання фацій. В умовах обмеженого комплексу ГДС ідентифікація літофацій часто виконується за комплексом кривих (ГК, НГК, АК, БК) з використанням дискримінантного аналізу або нейронних мереж. Обмеженням є низька вертикальна роздільна здатність та відсутність достатньої кількості кернових даних для калібрування. Детерміністичне моделювання фацій (метод найближчого сусіда, кригінг індикаторів) дозволяє побудувати одну найбільш імовірну реалізацію, яка відображає експертне розуміння розповсюдження колекторів у міжсвердловинному просторі. Стохастичні методи, зокрема послідовна індикаторна симуляція (Sequential Indicator Simulation – SIS) та усічена гауссова симуляція (Truncated Gaussian Simulation – TGS), генерують множину рівноймовірних реалізацій, що дає змогу оцінити невизначеність просторового поширення фацій та виявити зони з підвищеною ймовірністю наявності колектора поза зонами поточного дренування.

Моделювання глинистості. Глинистість визначається переважно за даними гамма-каротажу. В умовах обмеженої інформації калібрування проводиться за обмеженою кількістю кернових аналізів. Детерміністична інтерполяція (кригінг, зворотні відстані) забезпечує стабільну модель, що відповідає наявному розумінню. Стохастичні підходи (послідовна гауссова симуляція – Sequential Gaussian Simulation, SGS) дозволяють врахувати просторове варіювання та оцінити вплив невизначеності глинистості на ефективну ємність.

Моделювання пористості та проникності. Пористість оцінюється за даними нейтронного, акустичного та щільності каротажу. Проникність, як правило, розраховується за петрофізичними залежностями «пористість–проникність», побудованими на обмеженій вибірці керну. Основне обмеження – висока невизначеність проникності в міжсвердловинному просторі. Детерміністичне моделювання відображає базове розуміння розподілу фільтраційно-ємнісних властивостей. Стохастичні методи (SGS, ко-симуляція з пористістю) дозволяють генерувати множину реалізацій, що охоплюють можливий діапазон просторової неоднорідності, та оцінювати вплив на прогноз видобутку.

Моделювання ефективної товщини. Ефективна товщина визначається за відсіканням за граничними значеннями пористості, проникності та глинистості. В умовах обмежених даних граничні значення часто приймаються за аналогією або за результатами обмежених досліджень. Детерміністичний підхід дає одну узгоджену модель, яка відображає поточне розуміння розповсюдження об’ємів запасів. Стохастичне моделювання (зокрема багатоточкова статистика – Multiple-Point Statistics, MPS) дозволяє оцінити варіабельність ефективних товщин і ідентифікувати зони з підвищеною ймовірністю наявності недренованих запасів.

Детерміністичний метод є базовим інструментом, який дозволяє на основі наявних даних (з урахуванням їх обмежень) відобразити експертне розуміння розповсюдження об’ємів запасів у міжсвердловинному просторі. Він забезпечує стабільну модель для подальшого динамічного моделювання та прийняття рішень щодо управління розробкою.

Стохастичні методи (найпоширеніші: Sequential Indicator Simulation, Sequential Gaussian Simulation, Truncated Gaussian Simulation, Multiple-Point Statistics) шляхом генерації значної кількості реалізацій дозволяють ширше поглянути на поширення фацій і розподіл залишкових запасів у межах уже дренованих покладів. Аналіз множини реалізацій дає можливість оцінити ймовірність наявності колекторів поза зонами поточного дренування, виявити зони, менш залучені до розробки, або навіть нові перспективні ділянки, що є особливо важливим на пізній стадії експлуатації родовищ.

Практичне застосування комбінації детерміністичного та стохастичного підходів на об’єктах АТ «Укргазвидобування» дозволило уточнити оцінку залишкових запасів і обґрунтувати заходи з інтенсифікації видобутку та ущільнення сітки свердловин.

Висновки

1. В умовах обмеженого комплексу геофізичних та гідродинамічних досліджень моделювання фацій, глинистості, пористості, проникності та ефективної товщини характеризується підвищеною невизначеністю, що вимагає комбінованого застосування детерміністичних і стохастичних підходів.

2. Детерміністичний метод дозволяє відобразити розуміння розповсюдження об’ємів запасів у міжсвердловинному просторі на основі наявних даних з урахуванням їх обмежень і є основою для побудови постійно діючих моделей.

3. Стохастичні методи (SIS, SGS, TGS, MPS) шляхом генерації множини реалізацій забезпечують оцінку просторової невизначеності поширення фацій і залишкових запасів, дозволяють ідентифікувати зони, менш залучені до розробки, або нові перспективні ділянки на пізній стадії розробки родовищ.

4. Комбіноване використання детерміністичних і стохастичних підходів підвищує надійність оцінки залишкового потенціалу та обґрунтованість рішень щодо подальшої розробки родовищ вуглеводнів.

Список використаних джерел:

1. ECLIPSE. ECLIPSE Technical Description. Version 2020.1 © Schlumberger, 2020. – 1078 p.

2. Petrel Help. Version 2019.2. Mark of Schlumberger.

3. Deutsch C.V., Journel A.G. GSLIB: Geostatistical Software Library and User’s Guide. – Oxford University Press, 1998. – 369 p.

4. Caers J. Modeling Uncertainty in the Earth Sciences. – Wiley-Blackwell, 2011. – 246 p.

УДК 550.8:004.8

ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ У НАФТОГАЗОВІЙ ГАЛУЗІ: БЕЗАЛЬТЕРНАТИВНЕ МАЙБУТНЄ ЧИ МОДНИЙ ХАЙП?

Філатов В.Ю., *viacheslav.filatov@ugv.com.ua;*
Мельник Л.П., *leonid.melnyk@ugv.com.ua;*
АТ «Укргазвидобування», Київ, Україна

Розглянуто еволюцію застосування технологій штучного інтелекту в нафтогазовій галузі від перших експертних систем і цифрових моделей родовищ до сучасних генеративних AI-платформ та агентних систем. Проаналізовано світові тенденції розвитку AI-рішень у геологорозвідці та розробці родовищ, а також вплив появи ChatGPT у 2022 році на темпи цифрової трансформації галузі. Наведено результати пілотного проєкту АТ «Укргазвидобування» з використання алгоритмів машинного навчання в програмному комплексі Petrel для автоматизованої інтерпретації тектонічних порушень і кореляції відбивних горизонтів на основі 3D-сейсмічних даних. Отримані результати демонструють суттєве скорочення часу інтерпретації порівняно з традиційними методами та підтверджують перспективність впровадження AI-рішень у практику геологічного вивчення надр.

Ключові слова: штучний інтелект, машинне навчання, геологічне моделювання, інтерпретація сейсміки, Petrel, цифрова трансформація.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE OIL AND GAS INDUSTRY: INEVITABLE FUTURE OR TECHNOLOGY HYPE?

Filatov V., *viacheslav.filatov@ugv.com.ua;*
Melnyk L., *leonid.melnyk@ugv.com.ua;*
JSC Ukrgasvydobuvannya, Kyiv, Ukraine

The paper reviews the evolution of artificial intelligence technologies in the oil and gas industry, from early expert systems and digital reservoir models to modern generative AI platforms and intelligent agents. Global trends in AI implementation for exploration, geological interpretation and field development are analyzed, with particular attention to the impact of ChatGPT and large language models on industry digitalization. Results of a pilot project conducted by JSC Ukrgasvydobuvannya using machine learning algorithms in the Petrel software environment for automated fault interpretation and horizon tracking based on 3D seismic data are presented. The study demonstrates significant reduction in interpretation time compared with conventional workflows and confirms the high potential of AI integration into subsurface studies and geological modelling.

Keywords: artificial intelligence, machine learning, seismic interpretation, geological modelling, Petrel, digital transformation.

Вступ. Останні десятиліття характеризуються стрімким розвитком цифрових технологій у нафтогазовій галузі. Починаючи з 1990-х років компанії впроваджували експертні системи, геологічні бази даних та високопродуктивні обчислення для обробки сейсмічної інформації. У період 2005-2020 років почалося активне використання технологій машинного навчання для інтерпретації сейсмічних даних, прогнозування продуктивності свердловин, оптимізації буріння та моделювання колекторів.

Поява ChatGPT у листопаді 2022 року стала каталізатором нового етапу розвитку, що характеризується широким використанням генеративного штучного інтелекту, корпоративних мовних моделей та інтелектуальних помічників для геологів і розробників родовищ.

Мета роботи – оцінити сучасний стан розвитку технологій штучного інтелекту в нафтовій галузі та визначити практичну ефективність використання алгоритмів машинного навчання під час інтерпретації 3D-сейсмічних даних на прикладі пілотного проєкту АТ «Укргазвидобування».

В роботі описано як у межах пілотного проєкту АТ «Укргазвидобування» було проведено тестування AI-функціоналу програмного комплексу Petrel на основі комерційно-втаємниченого 3D-полігону.

Метою дослідження було визначення можливостей автоматизованого виділення тектонічних порушень і трасування відбивних горизонтів із застосуванням алгоритмів машинного навчання.

Під час дослідження було поставлено такі завдання:

- автоматичне виявлення та трасування тектонічних порушень;
- інтерпретація реперних поверхонь із використанням обмеженої вибірки навчальних даних;
- порівняння результатів ML-підходів із традиційними методами інтерпретації.

У результаті тестування:

- ідентифіковано 75 тектонічних порушень довжиною понад 400 м;
- проінтерпретовано менш ніж 1 % вихідних даних;
- отримано результат протягом одного робочого дня на етапі тестування алгоритмів;
- виявлено нові порушення, які не були визначені під час традиційної інтерпретації;
- підтверджено ефективність використання як керованого, так і некерованого машинного навчання.

Висновки. Штучний інтелект стає одним із ключових факторів трансформації нафтогазової галузі та вже сьогодні змінює підходи до геологорозвідки і розробки родовищ. Після 2022 року відбувся перехід від вузькоспеціалізованих ML-рішень до корпоративних AI-платформ, інтегрованих у виробничі процеси.

Результати пілотного проєкту АТ «Укргазвидобування» підтвердили високу ефективність застосування алгоритмів машинного навчання для автоматизованої інтерпретації сейсмічних даних.

Використання AI дозволило скоротити тривалість робіт утричі та підвищити повноту виявлення геологічних об'єктів.

Подальший розвиток та масштабування інтелектуальних технологій є перспективним напрямом цифрової трансформації геологічних і геофізичних підрозділів АТ «Укргазвидобування»

Список використаних джерел:

1. Матеріали пілотного проєкту UGV ML Pilot щодо застосування алгоритмів машинного навчання в програмному комплексі Petrel.

УДК 904:551.49:624.131

ПІДЗЕМНА СПАДЩИНА УКРАЇНИ: ВИКЛИКИ ЗБЕРЕЖЕННЯ ВАРЯЗЬКИХ ПЕЧЕР ТА ЇХ ГІДРОФІЗИЧНИЙ МОНІТОРИНГ

Саприкін В.Ю.*[1,2]*, *к. геол. н., ORCID.ORG/0009-0002-7112-2235, vsaprykin@hydrosafe.kiev.ua,*
Черевко І.А.*[2]*, *к. геол. н., ORCID.ORG/0000-0001-7083-6119, id0973974627@gmail.com,*
Романченко О.Д.*[2]*, *ORCID.ORG/ 0000-0002-7811-656X, olekroman@meta.ua,*
1 – Державна установа «Науково-інженерний центр радіогідрогеоекологічних полігонних досліджень Національної академії наук України», Київ, Україна,
2 – Національний заповідник «Києво-Печерська Лавра», Київ, Україна

Варязькі печери мають виняткове значення завдяки літописним переказам та збереженим на стінах давнім графіті. На відміну від основних лабіринтів Дальніх печер, стіни Варязьких печер не мають штучного укріплення і складаються з природних порід, зокрема, недостатньо стійкого вологого кольорового пісковику неогенового віку. Відсутність консерваційних заходів призводить до поступового саморуйнування печер. Процес деградації прискорюється під впливом різноманітних зовнішніх чинників, зокрема й сейсмічних коливань різного походження. Поодинокі обсипання ґрунту, на жаль, є типовими для незакріплених печер.

Ключові слова: Варязькі печери, проблеми збереження пам'яток, гідрофізичний моніторинг, історичні графіті.

UKRAINE'S UNDERGROUND HERITAGE: CHALLENGES IN PRESERVING THE VARIAZKI CAVES AND THEIR HYDROPHYSICAL MONITORING

Saprykin V.*[1,2]*, *Cand. Sci. (Geol.), ORCID.ORG/0009-0002-7112-2235, vsaprykin@hydrosafe.kiev.ua,*
Cherevko I.*[2]*, *Cand. Sci. (Geol.), ORCID.ORG/0000-0001-7083-6119, id0973974627@gmail.com,*
Romanchenko O.*[2]*, *ORCID.ORG/0000-0002-7811-656X, olekroman@meta.ua,*
1 – State Institution "Radioenvironmental Centre of National Academy of Sciences of Ukraine", Kyiv, Ukraine,
2 – National Preserve "Kyiv-Pechersk Lavra", Kyiv, Ukraine

The Variazki Caves are of exceptional significance due to accounts in historical chronicles and ancient graffiti preserved on their walls. Unlike the main labyrinths of the Dalni Caves, the walls of the Variazki Caves lack artificial reinforcement and consist of natural rock – specifically, unstable, moist, colored sandstone dating back to the Neogene period. The absence of conservation measures is leading to the gradual self-destruction of the caves. This degradation process is accelerated by various external factors, including seismic tremors of diverse origins. Unfortunately, isolated instances of soil collapse are typical for unreinforced caves.

Keywords: The Variazki Caves, monument preservation issues, hydrophysical monitoring, historical graffiti.

Вступ. Варязькі печери (рис. 1), як найдавніша складова комплексу Дальніх печер Києво-Печерської лаври є пам'яткою археології та архітектури національного значення XI-XIXст. (корпус № 91, охоронний № 260088/35). Спочатку Варязькі печери були самостійним комплексом, створеним ченцями у другій половині XI ст., і лише у XVII–XVIII ст. їх поєднали з Дальніми печерами довгою галереєю. Варязькі печери розташовані на південь від основного комплексу Дальніх печер в межах зсуворозподільного мису між XXXII (Лаврський яр) та XXXIII (Залаврська ділянка) зсувними цирками на глибині 8-14 м від денної поверхні та мають абс. відмітки – 150-160 м, підлога має а.в. 141-143 м.

Варязькі печери висічені в кольорових полтавських каолінових пісковиках неогенового віку. На відміну від основних лабіринтів Дальніх печер, стіни Варязьких печер переважно незакріплені муруванням, що робить об'єкт вразливим до природних чинників та механічних впливів. Об'єкт має виняткове значення завдяки літописним переказам та збереженим на стінах давнім графіті. Вхід до Варязьких печер здійснюється виключно через внутрішній перехід із галерей Дальніх печер. Об'єкт недоступний для вільного відвідування, обмеження введено з міркувань безпеки та збереження незакріплених стін і тендітної структури пісковику.

З попередніми роботами, в яких висвітлені результати досліджень Варязьких печер та розкриті проблеми їх збереження, можна ознайомитися в (Бобровський, 2012; Черевко та Куциба, 2012; Романченко, 2018).

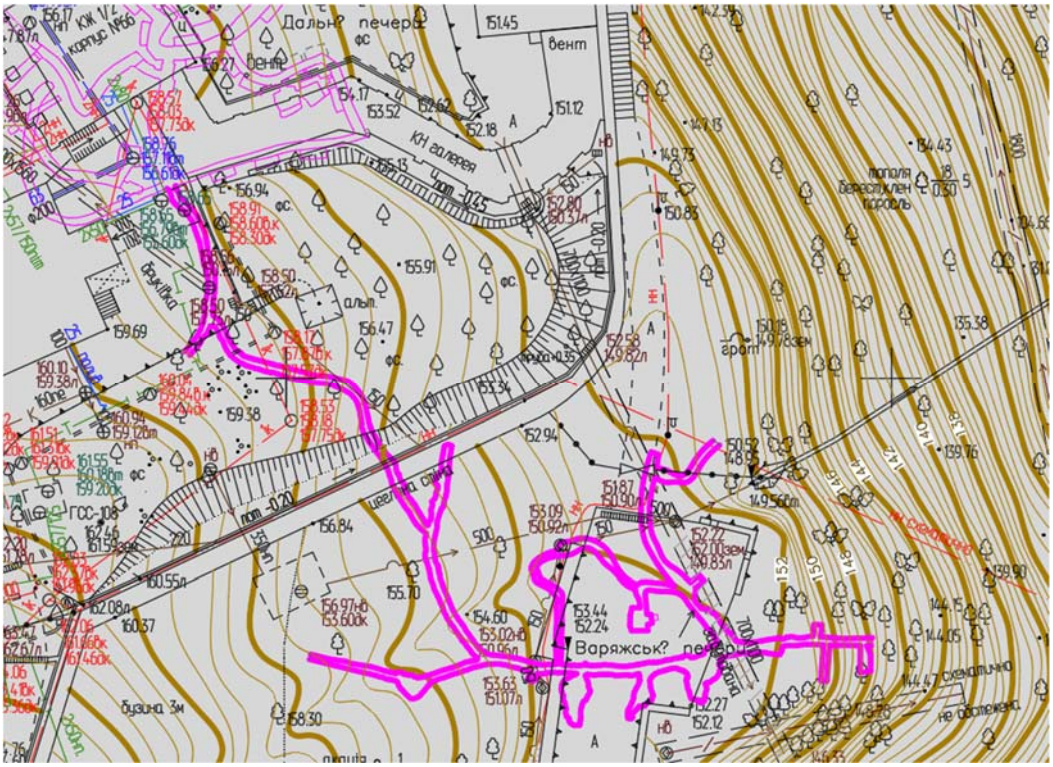


Рис. 1. План-схема Варязьких печер

Постановка проблеми. Потреба в регулярних обстеженнях Варязьких печер на предмет виникнення можливих нових обвалів, вивалів ґрунту й обсипань стала очевидною після обстрілу м. Києва в ніч на 24.01.2026 р. та наявності наслідків на території нижньої Лаври, зокрема на території Дальнопечерного пагорба.

Стіни Варязьких печер не мають штучного укріплення і складаються з природних порід, зокрема вологого кольорового піщанику. Через антропогенне, а не природне, походження об’єкта, відсутність консерваційних заходів призводить до його поступового саморуйнування. Процес деградації прискорюється під впливом різноманітних зовнішніх чинників, зокрема й сейсмічних коливань різного походження. Поодинокі обсипання ґрунту є типовими для незакріплених печер, що ускладнює пряму прив’язку таких обсипань до конкретних подій. Але «свіжі» обсипання підтверджують тенденцію до поступового руйнування пам’ятки.

Територія над Варязькими печерами знаходиться за межами Національного заповідника «Києво-Печерська лавра» і потребує негайного впорядкування з проведенням заходів щодо відведення поверхневого стоку. Поверхневий стік зрегульований місцевою системою дощового водовідведення, яка знаходиться в аварійному стані.

Загальні негативні явища в Варязьких печерах

Поблизу входу до Варязьких печер із Дальніх печер спостерігаються невеликі локальні свіжі вивали піщанику. Наявність на підлозі добре збережених уламків породи, що за кольором і структурою ідентичні матеріалу склепіння, підтверджує нещодавній характер їхнього утворення (рис. 2). Втім, неможливо точно датувати появу окремих нових вивалів, тим більше невеликого об’єму, оскільки в Варязьких печерах вони утворюються постійно і всі печери наповнені вивалами різного масштабу, що показано далі.



Рис. 2. Загальний вигляд останніх вивалів пісковику в Варязьких печерах

В печерах спостерігаються численні вивали та обрушення піщанику зі стін та склепінь (рис. 3), конструктивні тріщини в масиві ґрунту, тріщини сколів та відшарування по них приповерхневих шарів пісковику бокових площин стін (рис. 4), що спостерігаються в т.ч. вздовж вхідної галереї. Тріщини сколів та відшарування по них приповерхневих шарів піщанику бокових площин стін загрожує, в тому числі, численним графіті, розміщеним на стінах.

Зафіксовано збільшення осередків проростання кореневищ дерев по існуючих тріщинах у ґрунтовому масиві, що посилює їх розкриття та пришвидшує руйнування. Зафіксовані окремі прояви грибкових уражень на стінах печер (пліснява), що теж у перспективі може становити загрозу для графіті на стінах (рис. 5).

Результати гідрофізичного моніторингу

Відносна вологість повітря в печерах досягає 92-99%, температура 9-12° (взимку) 11-14° С (влітку). Об’ємна вологість кольорового пісковику, яким переважно складені стіни Варязьких печер, складає 5-20% (виміри здійснювалися датчиком вологості ґрунтів SM150T; виробництва Delta-T Devices, Великобританія). Загальною особливістю розподілу вологості в Варязьких печерах є її поступове підвищення до глинистого шару, в якому вона досягає до 40% об’ємної вологості (рис. 6). Цей шар погано пропускає вологу глибше в піщані прошарки і через це при надмірному надходженні вологи зверху може перезволожуватися і призводити до перезволоження розташованого вище пісковика, що в такому випадку може призвести до його руйнування. Це означає, що бажано мінімізувати надходження вологи зверху з поверхні шляхом її якісного відведення (дренажу) з ділянки.

В деяких відгалуженнях Варязьких печер на відслоненнях глинистого шару і прилягаючого до нього піщаника спостерігається сольова кірка через те, що надмірна волога, надходячи з вищерозташованого ґрунту, постійно підсихає на його відкритій поверхні.



Рис. 3. Загальний вигляд вивалів пісковику в Варязьких печерах



Рис. 4. Загальний вигляд тріщин в пісковику стін Варязьких печер

Висновки та рекомендації. Як техногенні, в т. ч. спричинені військовими діями, так і численні природні процеси (дія гравітаційних сил, коливання різної природи, розростання рослинності над печерами, можливе надмірне зволоження ґрунтового профілю) спричиняють поступову руйнацію незакріплених ґрунтових стін Варязьких печер і в разі посилення здатні викликати масштабні руйнування печер загалом і унікальних графіті зокрема.



Рис. 5. Проростання коріння та пліснява на стінах Варязьких печер

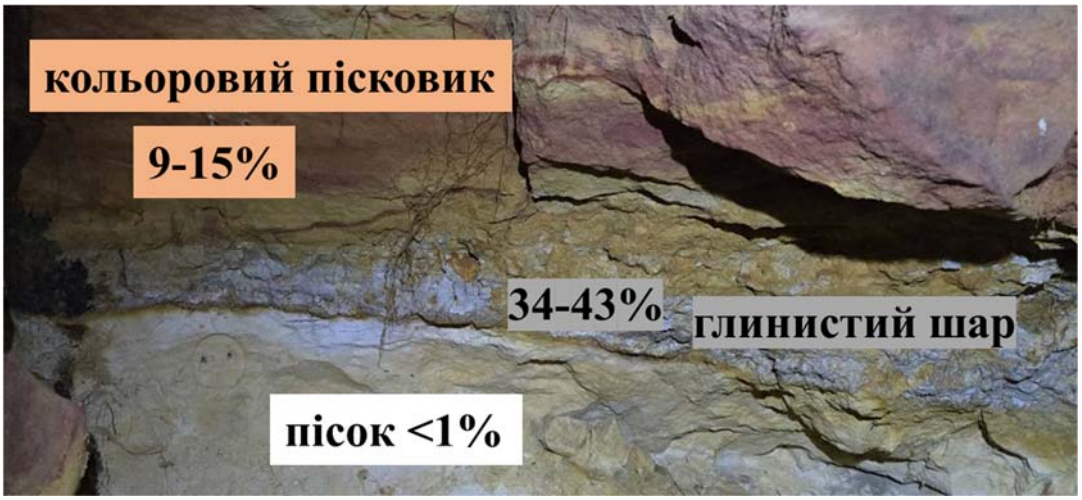


Рис. 6. Результати безпосередніх вимірів об'ємної вологості ґрунтів в зоні контакту їх різних шарів

Задля збереження Варязьких печер необхідно здійснити комплекс особливих заходів із закріплення стін, зупинки утворення та збільшення тріщин, зупинки розростання коріння по тріщинах, а також розвитку плісняви та інших грибків, щоб гарантувати збереження Варязьких печер та унікальних історичних графіті. Причому такі заходи мають враховувати особливості Варязьких печер, ґрунтів, якими вони складені, а також потрібно взяти до уваги механіку процесів руйнування, що відбуваються.

Рекомендовано: 1) розробити і впровадити комплекс науково обґрунтованих специфічних заходів (із врахуванням усіх особливостей ґрунтів) із закріплення стін, місцями й склепінь Варязьких печер з особливим акцентом на закріпленні графіті, що становлять історичну цінність; 2) розглянути питання щодо виконання робіт із впорядкування зелених насаджень ділянки розміщення Варязьких печер у комплексі з закріпленням масиву ґрунтів, в яких розміщені печери а також із організацією належного водовідведення та гідроізоляції ділянки розміщення печер; 3) серед першочергових заходів, що необхідно виконати, можна назвати консерваційно-реставраційні заходи,

пов’язані з локальним закріпленням ґрунтового шару із графіті, особливо в місцях відшарувань та тріщин з науковим обґрунтуванням вибору матеріалів і технології проведення робіт.

Список використаних джерел:

Бобровський, Т. А. (2012). Експертний висновок за результатами обстеження стану Варязьких печер Києво-Печерської лаври. *Лаврський альманах. Спецвипуск 10. Дослідження печерних комплексів Києво-Печерської лаври*, 118–125. Національний Києво-Печерський історико-культурний заповідник.

Черевко, І. А., & Куциба, В. О. (2012). Печерні комплекси Києво-Печерської лаври: моніторинг технічного стану та проблеми збереження. *Лаврський альманах. Спецвипуск 10. Дослідження печерних комплексів Києво-Печерської лаври*, 338–361. Національний Києво-Печерський історико-культурний заповідник.

Романченко, О. Д. (2018). Проблемні питання збереження Варязьких печер. In І. А. Черевко (Ed.), *Проблеми збереження та використання історичних підземних комплексів в умовах негативних техногенних впливів: Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції (Київ–Чернігів, 26–27 жовтня 2017 р.)* (pp. 73–83). Національний Києво-Печерський історико-культурний заповідник; ICCROM України; Видавництво «Фенікс».

References

Bobrovskyi, T. A. (2012). Ekspertnyi vysnovok za rezultatamy obstezhennia stanu Variazkykh pecher Kyievo-Pecherskoi lavry [Expert assessment based on the examination of the condition of the Variazki Caves of the Kyiv-Pechersk Lavra]. *Lavrskyi almanakh. Spetsialnyi vypusk 10. Doslidzhennia pechernykh kompleksiv Kyievo-Pecherskoi lavry* [Lavrsky Almanac. Special Issue 10. Research on the Cave Complexes of the Kyiv-Pechersk Lavra], 118–125. Natsionalnyi Kyievo-Pecherskyi istoryko-kulturnyi zapovidnyk. [in Ukrainian]

Cherevko, I. A., & Kutsyba, V. O. (2012). Pecherni kompleksy Kyievo-Pecherskoi lavry: Monitorynh tekhnichnoho stanu ta problemy zberezhennia [Cave complexes of the Kyiv-Pechersk Lavra: Monitoring of technical condition and conservation problems]. *Lavrskyi almanakh. Spetsialnyi vypusk 10. Doslidzhennia pechernykh kompleksiv Kyievo-Pecherskoi lavry* [Lavrsky Almanac. Special Issue 10. Research on the Cave Complexes of the Kyiv-Pechersk Lavra], 338–361. Natsionalnyi Kyievo-Pecherskyi istoryko-kulturnyi zapovidnyk. [in Ukrainian]

Romanchenko, O. D. (2018). Problemni pytannia zberezhennia Variazkykh pecher [Issues concerning the conservation of the Variazki Caves]. In I. A. Cherevko (Ed.), *Problemy zberezhennia ta vykorystannia istorychnykh pidzemnykh kompleksiv v umovakh nehatyvnykh tekhnohennykh vplyviv: Materialy Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii (Kyiv–Chernihiv, 26–27 zhovtnia 2017 r.)* [Problems of conservation and use of historical underground complexes under negative anthropogenic impacts: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference (Kyiv–Chernihiv, October 26–27, 2017)] (pp. 73–83). Natsionalnyi Kyievo-Pecherskyi istoryko-kulturnyi zapovidnyk; ICCROM Ukrainy; Vydavnytstvo “Feniks”. [in Ukrainian]

УДК 550.8

ПРОБЛЕМИ НОМЕНКЛАТУРИ МАГМАТИЧНИХ ПОРІД, ЩО ВІДНОСЯТЬСЯ ДО КОРИСНИХ КОПАЛИН ЗАГАЛЬНОДЕРЖАВНОГО ЗНАЧЕННЯ

Чертова Д.С., *ORCID ID 0009-0004-8185-7950, dariia.chertova@gmail.com;*
Навчально-науковий інститут «Інститут геології» Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Київ, Україна,
Товариство з обмеженою відповідальністю «ДРІВ ГЕО», Рівне, Україна

У переліку корисних копалин загальнодержавного значення зустрічаються корисні копалини, назви яких застаріли і не відповідають чинним вимогам номенклатури магматичних порід. До таких відносяться, зокрема, «андезито-дацити», «ліпарити» та ін. Для упорядкування уніфікації опису магматичних порід розроблений Петрографічний кодекс України, де наведена класифікація гірських порід магматичного та метаморфічного походження. Ця робота присвячена магматичним корисним копалинам загальнодержавного значення, що є затвердженими Постановою Кабінету Міністрів України, проте суперечить вимогам Петрокодексу України. Також, наводяться рекомендації до використання назв, які узгоджують застосування термінології у сфері надрокористування та якісно покращують управління ресурсами корисних копалин.

Ключові слова: класифікація, номенклатура, петрографічний кодекс, магматичні породи.

NOMENCLATURE ISSUES OF IGNEOUS ROCK CLASSIFIED AS MINERALS OF NATIONAL IMPORTANCE

Chertova D., *ORCID ID 0009-0004-8185-7950, dariia.chertova@gmail.com;*
Educational and Scientific Institute "Institute of Geology" of Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ukraine,
Limited Liability Company «DRIV GEO», Rivne, Ukraine

In the list of minerals of national importance, there are a number of rocks whose names are outdated and do not correspond to the current requirements of the nomenclature of igneous rocks. These include, in particular, "andesite-dacites", "liparites" and others. To organize and unify the description of igneous rocks, the *Petrographic Code of Ukraine* was developed, in which the classification of rocks of igneous and metamorphic origin is presented. This work is devoted to igneous minerals of national importance that are approved by the Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine, but contradict the requirements of the *Petrographic Code of Ukraine*. Recommendations for the use of names that would harmonize the application of terminology in the field of subsoil use and would qualitatively improve the management of mineral resources are also provided.

Keywords: classification, nomenclature, petrographic code, igneous rock.

Вступ. Відповідно до статті 6 Кодексу України про Надра № 132/94-ВР (Про Надра, 1994) Постановою Кабінету Міністрів України (далі – КМУ) від 12 грудня 1994 р. № 827 зі змінами затверджено Перелік корисних копалин загальнодержавного значення (далі – Перелік) (Про затвердження переліків корисних копалин…, 1994). До таких порід відноситься широкий перелік магматичних, метаморфічних, осадових та техногенних утворень.

У 1999 р. було укладено Петрографічний Кодекс України (Бєлєвцев та ін., 1999), де регламентуються загальні вимоги до петрографічних досліджень при вивченні території України. Цей документ має на меті впорядкування та уніфікацію основних петрографічних понять, термінів та номенклатури магматичних та метаморфічних гірських порід відповідно до вимог науково-методичного забезпечення геологознімальних робіт та робіт по складанню Державної геологічної карти України масштабу 1:200 000.

Актуальність проблеми. Згідно п. 8 ст. 8 Кодексу України про Надра однією з компетенцій КМУ є створення єдиної системи Державного інформаційного геологічного фонду.

Ефективне функціонування геологічної галузі та управління ресурсами можливе лише за умови дотримання єдиних правил застосування геологічної термінології. Створення таких правил і вимог проведення геологорозвідувальних робіт, в тому числі

петрографічних, пояснюється необхідністю узгодження результатів, отриманих різними виконавцями, для подальшого їх співставлення та кореляції.

Багато геологорозвідувальних робіт виконувались в Україні у другій половині XX ст. Підходи до вивчення і узагальнення інформації регіонально відрізнялись. При подальшій геолого-економічній оцінці та дослідженні багатьох родовищ корисних копалин використовувалась термінологія, застосована у звітах попередніх років, часто без детального петрографічного аналізу. Таким чином, деякі з назв корисних копалин не були адаптовані під чинні методичні рекомендації і тому не мають об'єктивного відображення відповідно до сучасної класифікації та номенклатури гірських порід.

Розбіжність, яка виникла між існуючою редакцією Петрографічного Кодексу України та чинними нормативно-правовими актами, зумовлює необхідність дослідження цієї проблематики.

Результати.

При розгляді номенклатури магматичних порід у Переліку були виявлені назви корисних копалин, які не відповідають рекомендаціям і вимогам Петрокодексу. До таких відносяться наступні: «андезито-дацит», «ліпарит» та «габро-сієніт».

«Андезито-дацити». Корисна копалина, притаманна багатьом родовищам вулканітів Закарпаття. Термін вперше був застосований у 1953 р. О.К. Піскорською (Соболєв та ін., 1955; Усенко та ін., 1975) для опису гіперстенових «андезито-дацитів» поблизу с. Рокосово (Закарпатська область), особливістю яких була присутність поодиноких фенокристів бурої рогової обманки та підвищеної основності плагіоклазу, який тут є більш кальцієвим ніж зазвичай у дацитах. У звіті про геолого-економічну оцінку Рокосівського родовища андезитів та туфів і надалі зустрічається термін «андезито-дацити» при описі геологічної будови району робіт.

Водночас, поблизу с. Жборівці Мукачівського р-ну Закарпатської області розвідане Зборівське родовище андезито-дацитів. За результатами петрографічних досліджень корисна копалина Зборівського родовища є подібною до описаних раніше порід неподалік Рокосова (Заморін та ін., 1984).

За своїми структурно-текстурними характеристиками це масивні вулканічні гірські породи з середньо-дрібнопорфіровою структурою. Загальна маса гіалітова до мікролітової, фельзитової.

У таблиці 1 наведено порівняння параметрів «андезито-дацитів» Зборівського та Рокосівського родовищ з найближчими до них вулканічними видами за вмістом SiO_2 та мінеральним складом порфірових вкраплеників (Бєлєвцев та ін., 1999; Заморін та ін., 1980; Заморін та ін., 1984; Чертова, 2026).

Якщо врахувати склад описаних гірських порід та застосувати для них класифікацію, рекомендовану Петрографічним Кодексом України, «андезито-дацити» можна класифікувати як андезити.

«*Ліпарити*». Термін «ліпарит» був запропонований у 1860 р.. Він позначає вулканічні породи кислого складу, описані на Ліпарських островах, які за хімізмом є подібними до гранітів. У ряді літератури може використовуватися як синонім ріолітам (Le Maitre, 2002).

З часом термін «ріоліт» набув ширшого застосування і саме він наразі рекомендований Петрографічним Кодексом України для найменування кислих ефузивних порід, які містять фенокристи кварцу, кислого плагіоклазу (альбіт, олігоклаз) та лужного польового шпату, а також характеризуються високим вмістом SiO_2 понад 70%.

«*Габро-сієніт*». Термін, що використовувався для позначення проміжних порід між габроноритами та монцонітами, вперше застосований Тарасенком В.Є у 1895 р. (Усенко та ін., 1975).

Згідно Петрокодексу габро та сієніт мають дуже відмінні характеристики мінерального та хімічного складу. Основними відмінностями є тип плагіоклазу – для

сієнітів притаманні анортит та олігоклаз (Pl_{0-30}), тоді як для габро виділяються більш основні – андезин та лабрадор (Pl_{35-65}); мінеральні асоціації: лужний польовий шпат, кварц, біотит та рогова обманка для перших та піроксени для других. Також вони є суттєво відмінними за вмістом SiO_2 – 54-62% та 43-52% відповідно.

Таблиця 1

Порівняння хімічного та мінералогічного складу «андезито-дацитів» Рокосівського і Зборівського родовищ згідно класифікації Петрографічного Кодексу України

Родина	Андезибазальти	Андезити	Трахіандезити-кварцові латити		Рокосівське	Зборівське
Вид	Магнезіальний андезибазальт	Андезит	Трахіандезит	Кварцовий латит	*Андезит*	*Андезит*
Мін. склад (об.%)	Вкрапленики: Pl, CPx, ± Ol, OPx Заг. маса: Pl, CPx, OPx, скло ± Qu	Вкрапленики: Pl_{35-50}, CPx, OPx, Hbl, Bt Заг. маса: Pl, CPx, OPx, скло ± Qu, Fsp	Вкрапленики: Pl_{30-40}, CPx, Hbl ± Ol, Bt Заг. маса: Pl, CPx, Amf, Mt, скло ± Fsp	Вкрапленики: Pl_{30-55}, CPx, OPx, Bt ± Ol, Fsp Заг. маса: Pl, OPx, CPx, Bt, Qu (>5%), Fsp, Mt, скло	Вкрапленики: Pl_{40-70}, OPx, Mt ± Hbl, Fsp	Вкрапленики: Pl, OPx, CPx, Mt
Хімічний склад:						
SiO2	56-64	56-64	56-65	57-64	62-64	59-60
TiO2	0,2-0,5	0,5-0,8	0,5-2	0,5-1,5	0,6-0,8	1,0-1,2
Al2O3	**14-15**	16-21	15-19	15-21	16-18	16-17
Fe2O3	2-3	3-4	2-6	2-5	2,7-4,3	7-9*
FeO	3-5	3-5	2-5	2-5	1,6-2,2	-
MgO	**5-10**	**3-4**	2-4	1-2	0,5-1	1,2-2,4
CaO	**6-8**	6-7	3-6	**2-4**	4,6	4,6-5,3
Na2O	2-3	2-4	**4-6**	**3-5**	2,7-3,3	2,8-2,9
K2O	0,3-2	1-2	1-3	**4-6**	2,3-2,8	2,3-2,8
Характерні особливості видів	Високий вміст MgO та низький Al_2O_3		Присутність Fsp	Присутність Fsp		

Окремої уваги потребують назви корисних копалин, наведені в Переліку, які потребують уточнення відповідно до сучасних вимог термінології та номенклатури (табл. 2).

Таблиця 2

Невідповідності назв магматичних порід у Переліку корисних копалин вимогам Петрографічного кодексу України

Назва корисної копалини, наведена у Переліку	***Рекомендована назва, відповідно до Петрографічного Кодексу України***
Андезито-базальт	Андезибазальт
Габро-анортозит	Анортозит
Габро-діабаз	Діабаз*
Габро-діорит	Габродіорит
Габро-долерит	Долерит
Габро-лабрадорит	Лабродорит
Габро-норит	Габронорит
Ліпарито-дацит	Ріодацит

**назви діабаз слід уникати для змінених базальтів*

Висновки.

1. Проведений аналіз номенклатури магматичних корисних копалин загальнодержавного значення засвідчив наявність термінологічних невідповідностей сучасній українській номенклатурі магматичних порід.

2. Встановлено, що окремі терміни мають історичне походження та продовжують використовуватись у нормативних документах, застосування яких не відповідає рекомендаціям Петрографічного Кодексу України.

3. Порівняння наведених у Переліку назв із номенклатурою Петрографічного Кодексу України дозволило визначити рекомендовані назви відповідних типів порід. Узгодження назв корисних копалин із сучасною петрографічною номенклатурою сприятиме однозначній ідентифікації мінеральної сировини та вдосконаленню термінологічної бази у сфері надрокористування.

Список використаних джерел:

Le Maitre, R.W., A. Streckeisen, B. Zanettin et al. (2002). *Igneous Rocks: a Classification and Glossary of Terms*. 2nd edition. Cambridge University Press.

Заморін Б.І., Висоцький В.В., Сащенко І.Д. та ін. (1980). *Звіт про детальну розвідку андезитів на ділянці Центральній та переоцінці запасів на ділянці Західній Рокосівського родовища Закарпатської області УРСР в 1978-1980 рр*. Том 1. Львів

Заморін Б.І., Габор М.М., Копинець Л.Д. та ін. (1984). *Звіт про пошукові роботи на будівельне каміння в районі Шелестівського родовища і детальну розвідку Зборівського родовища андезидациту в Закарпатській області СРСР за 1978-1984 рр.* Том 1. Львів.

Бєлєвцев Р.Я., Вєліканов В.А., Гасанов Ю.Л. та ін. (1999). *Петрографічний кодекс України*. Відпов. ред. І.Б. Щербаков. Київ.

Про затвердження переліків корисних копалин загальнодержавного та місцевого значень. Постанова Кабінету Міністрів України, №827 (1994, ред. 2025) (Україна). https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/827-94-%D0%BF#Text

Про Надра. Кодекс України, № 132/94-ВР (1994, ред. 2024) (Україна). https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/132/94-%D0%B2%D1%80#Text

Соболєв В.С., Костюк В.П., Бобрієвич А.П. та ін. (1955). *Петрографія неогенових вулканічних та гіпабісальних порід радянських Карпат*. Київ.

Усенко І.С., Єсипчук К.Є., Личак І.Л. та ін. (1975). *Довідник з петрографії України (магматичні та метаморфічні породи)*. Київ.

Чертова Д.С. (2026). Проблеми номенклатури вулканічних порід середнього складу на прикладі Рокосівського родовища андезитів (Закарпаття). *Матеріали Чотирнадцятих наукових читань імені академіка Євгена Лазаренка з міжнародною участю «Класична і сучасна мінералогія: освітні, наукові та прикладні аспекти»* (с. 170-172). Львів: ЛНУ імені Івана Франка.

References

Chertova, D.S. (2026). Nomenclature Issues of Intermidiate-Composition Volcanic Rocks: The Case of the Rokosiv Andesite Deposit (Transcarpathians). *Proceedings of the Fourteenth Scientific Readings Named After Academician Yevhen Lazarenko with International Participation "Classical and Modern Mineralogy: Educational, Scientific and Applied Aspects"* (p. 170-172). Lviv: Ivan Franko National University of Lviv [in Ukrainian].

Committee on Geology, National Academy of Sciences of Ukraine, M.P.Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of NAS of Ukraine et al. (1999). *Petrographic Code of Ukraine*. Editor-in-chief Scherbakov, I.B. Kyiv [in Ukrainian].

Le Maitre, R.W., A. Streckeisen, B. Zanettin et al. (2002). *Igneous Rocks: a Classification and Glossary of Terms*. 2nd edition. Cambridge University Press.

List of National and Local Mineral Resources. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine №827 (1994, ed. 2025) (Ukraine). https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/827-94-%D0%BF#Text

Sobolev, V.S., Kostiuk, V.P., Bobrievych, A.P. et al. (1955). Petrography of Neogene Volcanic and Hypabyssal Rocks of the Soviet Carpathians. Kyiv

Subsoil. Code of Ukraine, № 132/94-BP (1994, ed. 2024) (Ukraine). https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/132/94-%D0%B2%D1%80#Text

Usenko, I.S., Yesypchuk, K.Ye., Lychak I.L. et al (1975). *Reference Book on the Petrography of Ukraine: Igneous and Metamorphic Rocks*. Kyiv

Zamorin, B.I., Habor, M.M., Kopynec, L.D. et al. (1984). *Report on Prospecting for Construction Stone in the Area of the Shelestivske deposit and Detailed Exploration of the Zborivske Deposit od Andesidacite in the Transcarpathian Region of the Ukrainian SSR in 1978-84*. Vol. 1. Lviv

Zamorin, B.I., Vysotskyi, V.V., Sashchenko I.D. et al. (1980). *Report on the Detailed Exploration in the Central Area and Reassessment of Reserves in the Western Area of the Rokosivske Deposit, Transcarpathian Region, Ukrainian SSR in 1978-1980*. (1980). Vol. 1. Lviv

ІНВЕСТИЦІЙНИЙ ПОТЕНЦІАЛ МІНЕРАЛЬНО-СИРОВИННОЇ БАЗИ УКРАЇНИ



УДК 550.8:004

ОЦИФРУВАННЯ ГЕОЛОГІЧНИХ ФОНДІВ ЯК СТРАТЕГІЧНИЙ НАПРЯМ ЗБЕРЕЖЕННЯ ПЕРВИННОЇ ГЕОЛОГІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ТА ПІДВИЩЕННЯ ІНВЕСТИЦІЙНОЇ ПРИВАБЛИВОСТІ НАДРОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Дворецький Р.Б., *r.dvoretskyi@gmail.com,*
Голуб О.Г., *olegprgp@ukr.net,*
Матвієнко А.М., *novator11977@ukr.net,*
ДП «Укрнаукагеоцентр», Полтава, Україна

Розглянуто важливість переведення первинної геолого-геофізичної інформації з фондових матеріалів у цифровий формат. Висвітлено можливості систематизації, збереження та повторного використання накопичених даних для геологічного вивчення надр. Зазначено, що формування структурованих цифрових інформаційних ресурсів сприяє оперативній оцінці перспективності об'єктів, зменшенню геологічної невизначеності, підвищенню достовірності результатів оцінювання та обґрунтованості інвестиційних рішень у сфері надрокористування.

DIGITALIZATION OF GEOLOGICAL ARCHIVES AS A STRATEGIC APPROACH TO PRESERVING PRIMARY GEOLOGICAL INFORMATION AND ENHANCING THE INVESTMENT ATTRACTIVENESS OF SUBSOIL USE IN UKRAINE

Dvoretskyi R., *r.dvoretskyi@gmail.com,*
Holub O., *olegprgp@ukr.net,*
Matviienko A., *novator11977@ukr.net,*
SE «Ukrnaukageocenter», Poltava, Ukraine

The importance of converting primary geological and geophysical information from archival materials into digital format is considered. The potential for systematizing, preserving, and reusing accumulated data for geological study of the subsoil is highlighted. It is noted that the development of structured digital information resources facilitates the prompt assessment of the prospects of geological objects, reduces geological uncertainty, improves the reliability of assessment results, and supports more informed investment decisions in the field of subsoil use.

Первинна геолого-геофізична інформація є основою геологічного вивчення надр, оцінки ресурсного потенціалу та прийняття обґрунтованих рішень щодо перспектив освоєння об'єктів надрокористування. У результаті багаторічних геологорозвідувальних робіт в Україні сформовано значний масив фондових матеріалів, який містить результати буріння свердловин, геологічну документацію, матеріали геофізичних досліджень, результати випробувань, лабораторних досліджень та інші первинні дані. Значна частина цих матеріалів створювалася протягом тривалого часу та зберігається переважно на паперових носіях.

Традиційна форма зберігання поступово стає недостатньо ефективною в умовах зростання обсягів геологічних даних та необхідності їх оперативного використання. Пошук і зіставлення необхідних матеріалів потребують значних витрат часу, а фізичне старіння паперових носіїв створює ризик пошкодження або втрати унікальної первинної інформації. Додаткові ризики для збереження таких ресурсів виникають в умовах воєнного стану.

Тому переведення фондових матеріалів у цифровий формат є важливим напрямом їх довгострокового збереження. Водночас оцифрування не повинна обмежуватися створенням електронних копій. Її результатом має стати систематизований цифровий ресурс, у якому накопичена геологічна інформація зберігається у формі, придатній для подальшого аналізу та практичного використання.

Розглянуто основні підходи до оцифрування геологічних фондів, особливості переведення первинної геолого-геофізичної інформації у цифровий формат та можливості її подальшого використання для сучасного геологічного вивчення, оцінки перспективності

об’єктів надрокористування та підготовки інформаційного забезпечення інвестиційних пропозицій.

Практичну основу дослідження становлять матеріали геологічних фондів ДП «Укрнаукагеоцентр». До складу геологічних фондів входять різнорідні за формою та змістом матеріали, що відрізняються за рівнем деталізації, інформативністю та призначенням. Особливе значення мають первинні матеріали по свердловинах, оскільки вони містять безпосередні результати бурових робіт, геологічних, геофізичних та лабораторних досліджень і дають змогу за необхідності перевіряти та уточнювати результати попередніх досліджень.

У геологічних фондах ДП «Укрнаукагеоцентр» зберігається значний масив первинної інформації по нафтогазових свердловинах, пробурених у минулі роки підприємствами ПрАТ «НАК «Надра України» за кошти державного бюджету в межах Східного та Південного нафтогазоносних регіонів України. Загалом фондові матеріали охоплюють справи 2997 свердловин та матеріали промислово-геофізичних досліджень по 2419 свердловинах, що свідчить про значний обсяг первинної геолого-геофізичної інформації, накопиченої за результатами багаторічних геологорозвідувальних робіт.

Для нафтогазоносних регіонів особливу цінність становлять геологічна документація свердловин, каротажні діаграми, результати випробувань, дані про керн, лабораторні визначення та інші матеріали, що характеризують геологічну будову розрізу та властивості гірських порід. Комплексне використання цих джерел створює можливість для уточнення стратиграфічної кореляції, будови та поширення продуктивних горизонтів, характеру пасток, параметрів колекторів і перспективності окремих об’єктів надрокористування.

Оцифрування таких матеріалів передбачає послідовне переведення інформації з паперової форми у цифровий формат із збереженням її змісту, структури та інформативності. Основними операціями є сканування справ свердловин і матеріалів геофізичних досліджень, створення електронних копій, структурування відомостей та оцифрування каротажних діаграм.

Для справ свердловин передбачається не лише створення електронних копій, а й вилучення та систематизація основних відомостей у структурованих таблицях даних. Це забезпечує впорядковане представлення інформації про свердловини, їх конструкцію, літологічну характеристику розрізу, об’єми відібраного кернового матеріалу, результати випробування, пластові тиски, властивості флюїдів та інші результати проведених досліджень.

Окремим напрямом є оцифрування матеріалів геофізичних досліджень. Після сканування каротажних діаграм їх графічна інформація переводиться у цифрові LAS-файли із збереженням наявних кривих, інтервалів глибин, масштабів та інших параметрів первинних матеріалів. Одночасно формується реєстр наявних матеріалів ГДС та забезпечується їх впорядковане зберігання за кожною свердловиною.

Таким чином, результатом є структурований цифровий масив первинної геолого-геофізичної інформації, що поєднує електронні копії фондових матеріалів, табличні дані по свердловинах та оцифровані результати геофізичних досліджень (рис. 1)



Рис 1. Послідовність процесу оцифрування архівної геологічної інформації

Для нафтогазових об’єктів сформований цифровий масив створює можливість повторної інтерпретації раніше отриманих матеріалів із використанням сучасних методів та програмних засобів. Це дозволяє уточнювати геологічну будову, кореляцію розрізів, положення продуктивних горизонтів, характеристики колекторів та ресурсний потенціал окремих об’єктів. При цьому до аналізу може бути залучений значно більший обсяг первинних даних, які раніше були розосереджені у фондових матеріалах або використовувалися лише частково.

Важливою перевагою цифрового формату є спрощення пошуку та оперативного опрацювання необхідної інформації. При роботі з паперовими фондами значний час витрачається на пошук потрібних справ, свердловин, каротажних діаграм та інших матеріалів, їх перегляд і підготовку до аналізу. Наявність структурованого цифрового масиву дає змогу швидко сформувати необхідну вибірку даних по конкретному об’єкту та безпосередньо перейти до її аналізу. Це особливо важливо під час первинної оцінки перспективних ділянок, коли необхідно оперативно визначити їх ресурсний потенціал, геологічні особливості, ризики та потребу в додаткових дослідженнях.

Для потенційного інвестора важливим є не лише обсяг доступної інформації, а й можливість її комплексного використання під час оцінки об’єкта. Цифрове представлення первинних матеріалів дає змогу зіставляти дані різних видів, отримані в різні періоди геологорозвідувальних робіт, та використовувати їх як єдину інформаційну основу для формування попередніх висновків щодо перспективності ділянки. У результаті підвищується обґрунтованість первинної оцінки та створюються умови для більш ефективного визначення пріоритетних напрямів подальших робіт.

Зв’язок між оцифруванням геологічних фондів та інвестиційною привабливістю об’єктів надрокористування має послідовний характер: доступність первинних даних забезпечує їх оперативне опрацювання, результати опрацювання дають змогу уточнити геологічну модель та оцінити ресурсний потенціал і ризики, а отримана інформація створює основу для прийняття більш обґрунтованого інвестиційного рішення. Логіку такого взаємозв’язку наведено на рис. 2.



Рис. 2. Логічна схема впливу оцифрування геологічних фондів на інвестиційне рішення

Особливого значення такий підхід набуває для територій із тривалою історією геологорозвідувальних робіт. Значний обсяг даних уже був отриманий у процесі попереднього вивчення, тому їх повторне використання дозволяє не починати оцінку перспективності об'єкта з нуля. Сучасна інтерпретація раніше отриманих результатів може стати основою для уточнення геологічної моделі, переоцінки перспективних горизонтів та виявлення нових можливостей використання територій, які раніше не отримали належної оцінки. Це також може зменшити потребу у повторенні окремих досліджень та відповідні витрати на початкових етапах підготовки об'єкта.

Окремою перевагою структурованого цифрового фонду є підвищення прозорості інформаційного забезпечення інвестиційних пропозицій. Для потенційного інвестора важливо мати можливість не лише ознайомитися з узагальненими показниками ресурсного потенціалу, а й перевірити первинні матеріали, на яких ґрунтуються відповідні оцінки та геологічні висновки. На цій основі можуть формуватися комплексні інформаційні пакети щодо перспективних об'єктів, які поєднують результати попередніх досліджень, первинні геологічні матеріали та результати їх сучасної інтерпретації.

Водночас оцифрування геологічних фондів має значення не лише для оцінки окремих інвестиційних об'єктів. Інтеграція різнорідних геологічних матеріалів у структурований цифровий ресурс створює передумови для формування єдиного інформаційного простору у сфері геологічного вивчення та раціонального використання надр. Такий простір забезпечує можливість комплексного використання накопиченої інформації для наукових досліджень, виконання виробничих завдань, підготовки управлінських рішень та інформаційного забезпечення діяльності державних органів і учасників ринку. Структурований характер цифрових даних також спрощує їх узагальнення та створює передумови для формування систематизованої звітності у сфері надрокористування.

Практичні можливості реалізації робіт. Масштабне виконання робіт із оцифрування геологічних фондів потребує наявності відповідної матеріально-технічної бази, кваліфікованих фахівців та практичного досвіду роботи з первинною геолого-геофізичною інформацією. ДП «Укрнаукагеоцентр» має необхідне обладнання для виконання робіт зі сканування, оцифрування та обробки фондових матеріалів, а також технічні можливості для систематизації отриманої інформації та створення структурованих баз даних.

Відповідні роботи виконуються висококваліфікованими спеціалістами підприємства, які мають досвід роботи з геологічною документацією свердловин, матеріалами геофізичних досліджень та іншою первинною геолого-геофізичною інформацією. Наявність профільних фахівців дозволяє забезпечувати не лише технічне переведення матеріалів у цифрову форму, а й їх належне структурування з урахуванням геологічного змісту та подальшого практичного використання.

Практична спроможність підприємства підтверджується виконанням відповідних робіт на замовлення приватних та державних підприємств. На сьогодні ДП «Укрнаукагеоцентр» виконало роботи зі сканування та оцифрування матеріалів більш ніж по 450 свердловинах. Накопичений досвід дозволив відпрацювати технологічну послідовність виконання таких робіт, забезпечити їх організацію та визначити оптимальні підходи до опрацювання значних масивів геологічної інформації.

Наявні матеріально-технічні та кадрові можливості підприємства дозволяють виконувати роботи у значних обсягах. За відповідної організації виробничого процесу потужності
ДП «Укрнаукагеоцентр» дають можливість опрацьовувати понад 30 свердловин на місяць. Це створює практичні передумови для поетапної реалізації масштабних робіт із оцифрування первинної геолого-геофізичної інформації.

З метою системної організації таких робіт ДП «Укрнаукагеоцентр» попередньо розробило детальне геологічне (технічне) завдання, у якому визначено склад, основні напрями та послідовність виконання робіт зі сканування та оцифрування первинної

геолого-геофізичної інформації. Підготовлене технічне завдання було направлено до ПрАТ «НАК «Надра України», після чого відповідні матеріали були перенаправлені до Державної служби геології та надр України для розгляду.

За результатами розгляду Державною службою геології та надр України надано позитивну відповідь, відповідно до якої рекомендовано подати пропозицію щодо виконання геологорозвідувальних робіт зі сканування та оцифрування геологічної інформації для розгляду на засіданні Науково-технічної ради Держгеонадр під час розгляду об'єктів геологорозвідувальних робіт на 2027 рік.

Таким чином, ДП «Укрнаукагеоцентр» має сформовану матеріально-технічну, кадрову та організаційну основу для виконання великого обсягу робіт із оцифрування первинної геолого-геофізичної інформації. Поєднання необхідного обладнання, кваліфікованих фахівців, практичного досвіду виконання аналогічних робіт та можливості їх виконання у значних обсягах створює передумови для ефективної реалізації таких робіт у межах державних та галузевих програм.

Висновки. Оцифрування геологічних фондів доцільно розглядати як перехід від зберігання накопичених матеріалів до їх активного використання у сучасному надрокористуванні. Її практична цінність полягає у використанні результатів попередніх геологорозвідувальних робіт, підвищенні якості оцінки перспективних об'єктів, забезпеченні прозорості інформаційної основи інвестиційних пропозицій та формуванні умов для ефективнішого використання геологічної інформації на галузевому рівні. У сукупності це сприяє зменшенню інформаційної невизначеності та створенню сприятливіших умов для прийняття обґрунтованих рішень і залучення інвестицій у сферу надрокористування.

Список використаних джерел:

1. Про надра: Кодекс України; Закон, Кодекс від 27.07.1994 № 132/94-ВР // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/132/94-вр.

2. Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо удосконалення законодавства у сфері користування надрами: Закон України від 01.12.2022 № 2805-IX // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/2805-20.

3. Питання розпорядження геологічною інформацією: постанова Кабінету Міністрів України; Порядок, Перелік від 07.11.2018 № 939 // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/939-2018-п.

4. Матеріали геологічних фондів ДП «Укрнаукагеоцентр»: фондові матеріали. Полтава: ДП «Укрнаукагеоцентр».

5. Постанова Кабінету Міністрів України від 19 травня 2023 р. № 511 "Про затвердження Порядку ведення, функціонування та доступу до інформації єдиної державної електронної геоінформаційної системи користування надрами".

УДК ДК 550.8:336.143:355.01(477)

ПЕРЕЗАПУСК ГЕОЛОГОРОЗВІДУВАЛЬНИХ РОБІТ ЗА РАХУНОК КОШТІВ ДЕРЖАВНОГО БЮДЖЕТУ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ В МЕЖАХ ЗАГАЛЬНОДЕРЖАВНОЇ ПРОГРАМИ РОЗВИТКУ МІНЕРАЛЬНО-СИРОВИННОЇ БАЗИ УКРАЇНИ НА ПЕРІОД ДО 2030 РОКУ

Стрижак В.П., *к. геол. н., v.stryzhak@geo.gov.ua;*
Гаврилюк Р.О., *r.gavrilyuk@geo.gov. ua;*
Державна служба геології та надр України, Київ, Україна

Проаналізовано стан та напрямки виконання Загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази України до 2030 року, в попередні роки та теперішній час який характеризується недостатнім фінансовим забезпеченням та високого рівнем зовнішніх ризиків. Намічені подальші шляхи розвитку галузі.

Ключові слова: Мінерально-сировинна база України, ресурси, стратегічні, копалини, геологічні.

RESTART OF GEOLOGICAL EXPLORATION AT THE EXPENSE OF THE STATE BUDGET UNDER MARTIAL LAW WITHIN THE FRAMEWORK OF THE NATIONAL PROGRAM FOR THE DEVELOPMENT OF THE MINERAL RESOURCE BASE OF UKRAINE FOR THE PERIOD UP TO 2030

Stryzhak V., *PhD (Geol.), v.stryzhak@geo.gov.ua;*
Gavrilyuk R., r.gavrilyuk@geo.gov.ua;
The State Service of Geology and Mineral Resources of Ukraine, Kyiv, Ukraine

The state and directions of implementation of the National Program for the Development of the Mineral Resource Base of Ukraine until 2030, in previous years and the present, which is characterized by insufficient financial support and a high level of external risks, are analyzed. Further ways of development of the industry are outlined

Keywords: Mineral resource base of Ukraine, resources, strategic, fossils, geological.

Вступ. Одним із вагомих чинників сталого та ефективного розвитку національної економіки, основою розвитку видобувної та переробної галузей промисловості є потужний вітчизняний мінерально-сировинний комплекс, що формується на мінерально-сировинній базі України.

Мінерально-сировинна база України – це сукупність родовищ корисних копалин, у тому числі техногенних, а також відходів від видобування та переробки корисних копалин, придатних для промислового використання. Мінерально-сировинна база України формується шляхом проведення комплексу геолого-зйомочних, пошукових та розвідувальних робіт.

Мінерально-сировинна база є одним із ключових елементів економічної та оборонної безпеки держави. В умовах воєнного стану питання забезпечення України власними запасами стратегічних і критично важливих корисних копалин набуло особливого значення. Водночас реалізація Загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 року (Програма) [1] фактично перебуває у стані стагнації, а державні геологічні підприємства, які протягом десятиліть забезпечували виконання геологорозвідувальних робіт, опинилися на межі втрати виробничого та кадрового потенціалу.

Впродовж чотирьох років поспіль відповідно до постанови Кабінету Міністрів України від 10.03.2022 № 245 «Про спрямування коштів до резервного фонду державного бюджету» [2], Законів України від 03.11.2022 № 2710-IX «Про Державний бюджет України на 2023 рік» [3], від 09.11.2023 № 3460-IX «Про Державний бюджет України на 2024 рік» [4] та від 19.11.2024 № 4059-IX «Про Державний бюджет України на 2025 рік»

[5] фінансування на проведення геологорозвідувальних робіт за рахунок коштів державного бюджету було відсутнє.

Результати реалізації програми до 2022 року. До початку повномасштабної війни окремі завдання програми виконувалися за рахунок державного бюджету та власних коштів підприємств. Було забезпечено проведення регіональних геологічних досліджень, пошукових і пошуково-оцінювальних робіт, створено значні масиви первинної та вторинної геологічної інформації, яка сьогодні становить основу державного геологічного фонду та використовується надрокористувачами під час отримання спеціальних дозволів і залучення інвестицій.

Саме завдяки системній роботі геологічної служби та державних геологічних підприємств було сформовано більшу частину сучасної ресурсної бази України, яка сьогодні є предметом зацікавленості як вітчизняних, так і міжнародних інвесторів.

Виклики після початку повномасштабної війни. Повномасштабне вторгнення суттєво змінило пріоритети державної політики. Значна частина бюджетних ресурсів була спрямована на потреби оборони та безпеки. У результаті фінансування геологорозвідувальних робіт за рахунок державного бюджету фактично припинилося.

При цьому воєнний стан продемонстрував особливу важливість розвитку власної мінерально-сировинної бази, насамперед щодо критичних мінералів, рідкісноземельних металів, титану, літію, графіту, урану та інших видів стратегічної сировини, необхідної для оборонно-промислового комплексу та повоєнної відбудови держави.

На глобальному ринку, враховуючи ресурсний потенціал України, наша держава має великі можливості для нарощування власних промислових потужностей, що функціонують на основі стратегічної і критичної мінеральної сировини, та стимулювання економічного зростання шляхом впровадження сучасних технологій та інтеграції у глобальні ланцюги постачання критичних матеріалів і продукції на їх основі, приділяючи особливу увагу збагаченню та (або) переробці таких корисних копалин, включаючи рециклінг, як основу інтеграції України у глобальні ланцюги створення доданої вартості. Подальше зволікання із вжиттям дієвих заходів щодо розвитку мінерально-сировинної бази становить ризик нестачі низки видів корисних копалин, родовища яких розвідані або потенційно можуть бути розвідані в Україні, що загрожує економічній та політичній незалежності України, а також призведе до гальмування її інтеграції у глобальні ланцюги постачання. Тож Верховна Рада України прийняла Закон України «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо оновлення Загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 року та регулювання деяких питань стосовно корисних копалин та компонентів стратегічного та критичного значення» № 4154-IX 18 грудня 2024 року [6], введений в дію 17 січня 2025 року, що оновив та запустив загальнодержавну Програму.

Нормативне та фінансове забезпечення програми. Оновленою редакцією Програми суттєво переглянуто обсяги фінансування заходів за рахунок коштів державного бюджету. Зокрема, прогнозний обсяг державного фінансування на ІІІ етап реалізації Програми скорочено майже у 10 разів. У редакції Програми, затвердженій у 2011 році, передбачалося 15 436,7 млн грн бюджетного фінансування, так в оновленій редакції Програми на 2025-2030 роки передбачено лише 1 549,35 млн грн.

Таким чином, поточний обсяг державного фінансування становить лише близько 10 відсотків від показників, закладених під час прийняття Програми у 2011 році, або близько 14 відсотків від загального обсягу фінансування, передбаченого первинною редакцією Програми.

Особливої уваги потребує той факт, що таке скорочення відбулося без урахування суттєвих інфляційних процесів, зростання вартості геологорозвідувальних робіт, матеріально-технічних ресурсів, енергоносіїв та послуг, які мали місце протягом 2011-2026 років. У реальному вимірі ресурсне забезпечення державних геологорозвідувальних робіт є ще нижчим, ніж свідчить пряме порівняння номінальних показників фінансування.

Загальнодержавна програма розвитку мінерально-сировинної бази України до 2030 року введена в дію з 17 січня 2025 року. Водночас Законом України «Про Державний бюджет України на 2025 рік»[6] видатки на реалізацію заходів Програми не були передбачені, що фактично унеможливило її практичне виконання у перший рік дії. Після підписання та ратифікації 23 травня 2025 року Угоди про створення Українсько-американського фонду [7] відновлення було переглянуто підходи до формування джерел фінансування Програми та механізми розподілу відповідних бюджетних надходжень.

Зазначені зміни були реалізовані шляхом внесення відповідних положень до Закону України «Про Державний бюджет України на 2026 рік» [8].

Джерела фінансування Програми у 2026 році.

Статтею 11 Закону України «Про Державний бюджет України на 2026 рік» [8] визначено джерела формування спеціального фонду державного бюджету для фінансування заходів розвитку мінерально-сировинної бази, зокрема:

0,25 відсотка рентної плати за користування надрами для видобування нафти, природного газу та газового конденсату;

10 відсотків збору за видачу спеціальних дозволів на користування надрами та 10 відсотків коштів від продажу таких дозволів;

10 відсотків збору за видачу спеціальних дозволів на користування надрами, віднесеними до Активів природних ресурсів, та 10 відсотків коштів від їх продажу.

Недостатність фінансового забезпечення.

Плановий обсяг фінансування заходів Програми на 2026 рік становить 253 млн грн.

Разом з тим Законом України «Про Державний бюджет України на 2026 рік» [8] за бюджетною програмою КПКВК 1202040 «Розвиток мінерально-сировинної бази України» затверджено видатки лише у сумі 186,9 млн грн.

Таким чином, обсяг бюджетного фінансування становить близько 74 відсотків від передбаченої Програмою потреби, а дефіцит фінансування складає понад 66 млн грн.

Удосконалення нормативної бази.

Упродовж 2025-2026 років проведено роботу з приведення підзаконної нормативно-правової бази у відповідність до положень Загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази України до 2030 року.

Постановою Кабінету Міністрів України від 17 червня 2026 року № 784 оновлено:

Порядок проведення геологорозвідувальних робіт за рахунок коштів державного бюджету, затверджений постановою КМУ від 25.01.1999 № 83 [9];

Порядок використання коштів, передбачених у державному бюджеті для розвитку мінерально-сировинної бази, затверджений постановою КМУ від 28.02.2011 № 301 [10].

Організаційні фактори та ризики.

У липні 2025 року відбулася масштабна реорганізація центральних органів виконавчої влади, внаслідок якої було утворено Міністерство економіки та довкілля України шляхом розширення повноважень Міністерства економіки. Зміна структури управління, перерозподіл функцій та кадрові зміни вплинули на процес формування та реалізації державної політики у сфері геологічного вивчення та раціонального використання надр.

Ризики наповнення спеціального фонду.

Основним та найбільш прогнозованим джерелом наповнення спеціального фонду є рентна плата за видобування нафти, природного газу та газового конденсату. Водночас надходження від продажу та видачі спеціальних дозволів на користування надрами мають нерегулярний характер та залежать від інвестиційної активності в галузі надрокористування.

Додатковим фактором ризику є пошкодження об'єктів нафтогазовидобувної інфраструктури внаслідок збройної агресії російської федерації, що може призводити до скорочення обсягів видобутку вуглеводнів та, відповідно, зменшення надходжень рентної плати.

Воєнні ризики та невизначеність інвестиційного середовища можуть також негативно впливати на кількість аукціонів з продажу спеціальних дозволів та обсяги відповідних бюджетних надходжень.

Стан об'єктів геологорозвідувальних робіт. Починаючи з 2022 року, у стані консервації перебувають 362 об'єкти геологорозвідувальних робіт, з яких:

282 об'єкти належать підприємствам сфери управління Держгеонадр;

80 об'єктів перебувають у користуванні інших підприємств.

Унаслідок багаторічного недофінансування та впливу воєнного стану значна кількість перспективних об'єктів не була доведена до стадії підготовки інвестиційних пропозицій або промислового освоєння.

Необхідність державного фінансування.

Раціональним напрямом державних інвестицій є фінансування робіт, які мають стратегічне значення для держави, характеризуються тривалим циклом окупності та не є привабливими для приватного бізнесу на початкових стадіях реалізації.

Насамперед йдеться про пошукові та пошуково-оцінювальні роботи, регіональне геологічне вивчення території, геологічне картування, державний моніторинг геологічного середовища, ведення державних кадастрів та балансів запасів корисних копалин.

Саме такі роботи створюють первинну геологічну інформацію та формують інвестиційно привабливі об'єкти надрокористування для подальшого залучення приватного капіталу.

Основні напрями використання коштів у 2026 році.

1. Пошуки та оцінка родовищ стратегічних і критичних корисних копалин, передбачено фінансування у розмірі 43,9 млн грн.

Основна мета:

• приріст ресурсної бази України;

• підготовка перспективних ділянок надр для подальшого залучення інвесторів;

• формування геологічної інформації щодо стратегічних та критично важливих видів мінеральної сировини.

2. Геологічне картування території України, передбачено фінансування у розмірі 20,9 млн грн.

Основна мета:

• розширення фонду перспективних ділянок надр;

• пошук нових інвестиційних об'єктів;

• забезпечення актуальності державної геологічної інформації.

• геологічне довивчення території

• збільшення рівня покриття території України Держгеолкартою-200.

3. Моніторинг геологічного середовища та підземних вод, передбачено фінансування у розмірі 29,6 млн грн.

Основна мета:

• забезпечення контролю за станом підземних вод;

• оцінка небезпечних геологічних процесів;

• підвищення рівня безпеки населення та об'єктів інфраструктури.

4. Наукове та інформаційне забезпечення розвитку мінерально-сировинної бази, передбачено фінансування у розмірі 43,6 млн грн.

Основна мета:

• ведення державних балансів запасів корисних копалин;

• функціонування кадастру родовищ та проявів корисних копалин;

• супровід державних геологорозвідувальних робіт;

• розвиток інформаційних геологічних систем.

Очікувані результати:

• виконання науково-дослідних робіт;

• опрацювання звітів щодо запасів підземних вод;

• опрацювання звітів щодо запасів нафти, газу та інших корисних копалин.

5. Моніторинг використання та охорони надр, передбачено фінансування у розмірі 49 млн грн.

Основна мета:

• запобігання неефективному використанню надр;

• контроль виконання умов спеціальних дозволів;

• недопущення втрат державою ресурсного потенціалу.

Геологорозвідувальні роботи планується здійснювати насамперед на діючих об'єктах, що перебували в консервації та не були завершені в попередні роки. До виконання робіт залучатимуться державні геологічні підприємства сфери управління Держгеонадр, що дозволить зберегти безперервність виробничого циклу незакінчених геологорозвідувальних робіт, досвід, виробничий та кадровий потенціал.

Відкриватимуться нові об'єкти геологорозвідувальних робіт відповідно до оновленої Загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази України із застосуванням конкурентних процедур закупівель.

Відповідно до рішень Науково-технічної ради Держгеонадр першочерговими до виконання визначено 69 об'єктів геологорозвідувальних робіт, за якими планується найближчим часом розпочати процедури закупівель.

Стан державних геологічних підприємств. Найбільшою проблемою сьогодні є критичний фінансовий та кадровий стан державних геологічних підприємств. Відсутність державного замовлення на проведення геологорозвідувальних робіт протягом тривалого часу призвела до фактичної втрати основного джерела фінансування їхньої діяльності. Підприємства, які історично створювалися для виконання державних програм геологічного вивчення надр, вимушені працювати в умовах відсутності довгострокових проєктів та гарантованого фінансування.

Додатковим негативним фактором стала мобілізація працівників та складнощі з бронюванням фахівців. Значна частина висококваліфікованих геологів, буровиків, геофізиків, гідрогеологів і проєктантів була мобілізована або змінила місце роботи. Через невизначеність перспектив функціонування галузі триває відтік кадрів до приватного сектору, міжнародних компаній та суміжних галузей. Втрата спеціалістів, бурових бригад, польових підрозділів, лабораторних потужностей та наукових шкіл може мати незворотний характер.

Особливо гострою є проблема старіння кадрів. Середній вік багатьох провідних спеціалістів перевищує 50 років, тоді як молоді фахівці не зацікавлені працювати в державному секторі через низький рівень заробітних плат та відсутність стабільних перспектив професійного розвитку.

Фактично сьогодні значна частина державних геологічних підприємств виживає виключно за рахунок обробки геологічної інформації, надання консультаційних та експертних послуг у сфері користування надрами, супроводу процедур отримання спеціальних дозволів, виконання окремих договірних робіт для надрокористувачів;

Висновок. Незважаючи на оновлення програмних документів та декларування стратегічної важливості надрокористування, повноцінний перезапуск державних геологорозвідувальних робіт ще не відбувся.

Протягом 2025-2026 роках створення необхідних правових та фінансових передумов для реалізації Загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази України до 2030 року, її виконання відбувається в умовах недостатнього фінансового забезпечення та високого рівня зовнішніх ризиків.

Стратегічне значення мінерально-сировинної бази для економічної безпеки держави та необхідність підготовки нових інвестиційних об'єктів надрокористування, оновленою редакцією Програми обсяги бюджетного фінансування фактично знижено до мінімально необхідного рівня. Такий підхід суттєво обмежує можливості держави щодо проведення

регіональних геологічних досліджень, пошуково-оцінювальних робіт, відновлення законсервованих об'єктів та формування якісного портфеля ділянок надр для залучення інвестицій. Більше того, з урахуванням інфляційних процесів та наслідків воєнного стану (втрата територій в наслідок тимчасової окупації та бойових дій) фактична спроможність держави фінансувати геологічне вивчення надр скоротилася у значно більшому обсязі, ніж це випливає з номінального порівняння показників Програм.

Подальша реалізація Програми потребує забезпечення стабільного надходження коштів до спеціального фонду, повного фінансування затверджених заходів та збереження інституційної спроможності державних геологічних підприємств в умовах воєнного стану.

Без відновлення державного замовлення на геологорозвідувальні роботи досягнення цілей Загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази України до 2030 року в повному обсязі є малоймовірним. Державні геологічні підприємства сьогодні перебувають у вкрай складному фінансовому та кадровому становищі й фактично існують за рахунок використання результатів геологічних досліджень, створених в попередніх десятиліттях. Подальше зволікання може призвести до остаточної втрати кадрового потенціалу та виробничих спроможностей галузі, відновлення яких у майбутньому потребуватиме значно більших ресурсів, ніж їх підтримка та розвиток сьогодні.

Державне фінансування у 2026 році спрямовується переважно на ті види геологічних робіт, які формують основу майбутнього інвестиційного портфеля держави та не можуть бути повною мірою забезпечені ринковими механізмами.

Реалізація зазначених заходів дозволить відновити виконання робіт на законсервованих об'єктах, сформувати нові перспективні інвестиційні ділянки надр, забезпечити ведення державної геологічної інформації та створити передумови для залучення внутрішніх і зовнішніх інвестицій у видобувний сектор економіки України.

Узагальнюючи для відновлення галузі необхідно:

• передбачити фінансування геологорозвідувальних робіт у державному бюджеті;

• запровадити механізми залучення юніорських геологічних компаній за моделями, що успішно працюють у Канаді, Австралії та інших країнах;

• розглянути можливість створення спеціальних стимулів для проведення геологічного вивчення з подальшим освоєнням родовищ;

• забезпечити бронювання ключових фахівців геологічної галузі;

• підвищити рівень оплати праці працівників державних геологічних підприємств;

• оновлення основних фондів державних геологічних компаній

• запровадити незалежну професійну експертизу проєктів;

• удосконалити систему державного обліку геологічної інформації та приросту запасів корисних копалин;

Список використаних джерел:

1. Закон України «Про затвердження Загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 року». Електронний ресурс, https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3268-17#Text

2. Постанова Кабінету Міністрів України від 10.03.2022 № 245 «Про спрямування коштів до резервного фонду державного бюджету». Електронний ресурс, https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/245-2022-%D0%BF#Text

3. Закон України від 03.11.2022 № 2710-IX «Про Державний бюджет України на 2023 рік», Електронний ресур, https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2710-20#Textc.

4. Закон України від 09.11.2023 № 3460-IX «Про Державний бюджет України на 2024 рік» Електронний ресурс, https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3460-20#Text.

5. Закон України від 19.11.2024 № 4059-IX «Про Державний бюджет України на 2025 рік» Електронний ресурс, https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4059-20#Text

6. Закон України «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо оновлення Загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 року та регулювання деяких питань стосовно корисних копалин та компонентів стратегічного та

критичного значення» від 18 грудня 2024 року № 4154-IX. Електронний ресурс https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4154-20#Text

7. Угода між Урядом України та Урядом Сполучених Штатів Америки про створення Американсько-українського інвестиційного фонду відбудови. Електронний ресурс, https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/840_001-25#Text.

8. Закон України Про Державний бюджет України на 2026 рік. Електронний ресурс https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4695-20#Text

9. Постанова Кабінет Міністрів України від 25 січня 1999 р. № 83 «Про затвердження Порядку проведення геологорозвідувальних робіт за рахунок коштів державного бюджету» Електронний ресурс, https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/83-99-%D0%BF#Text

10. Постанова Кабінет Міністрів України від 28 лютого 2011 р. № 301 «Про затвердження Порядку використання коштів, передбачених у державному бюджеті для розвитку мінерально-сировинної бази та внесення змін до Порядку проведення геологорозвідувальних робіт за рахунок коштів державного бюджету». Електронний ресурс, https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/301-2011-%D0%BF#Text

UDC 622.276.4

INTEGRATED MODELLING AND THERMODYNAMIC OPTIMISATION OF HEAVY OIL RECOVERY AS A PATHWAY TO UKRAINE'S ENERGY INDEPENDENCE

Vashchenko I., *postgraduate, ORCID ID 0009-0003-0697-544X,*
Vashchenko.Ir.O@nmu.one;
Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

The development of domestic heavy oil resources represents a strategically important direction for strengthening Ukraine's energy independence and reducing dependence on imported hydrocarbons. This study develops an integrated modelling and methodological framework for the optimisation of heavy oil recovery from deep reservoirs of the Dnieper-Donets Basin. The proposed approach combines PVT analysis, thermodynamic simulation, material-balance evaluation, well-performance modelling and reservoir–well coupling within an integrated asset modelling workflow. The methodology is intended to evaluate the applicability and operating conditions of Enhanced Oil Recovery (EOR) methods under the high pressure, temperature and fluid-viscosity conditions characteristic of deep heavy oil reservoirs. Particular attention is given to the interaction between reservoir-fluid properties, wellbore hydraulics and artificial-lift performance. The framework enables technically feasible development scenarios to be compared before field implementation, thereby reducing uncertainty associated with EOR selection and operating conditions. The expected result is a more systematic basis for increasing recovery from complex Ukrainian resources and converting technically challenging heavy oil accumulations into an additional component of the country's domestic hydrocarbon production and energy potential.

Keywords: heavy oil; Dnieper-Donets Basin; integrated asset modelling; Enhanced Oil Recovery; thermodynamic simulation; energy independence.

Introduction. Ukraine's energy security is closely connected with the ability to develop its own hydrocarbon resources and increase the efficiency of domestic oil and gas production. In this context, unconventional and technically difficult reserves represent not only an additional resource base but also an opportunity to strengthen the resilience of the national energy system. Heavy oil accumulations are particularly important because their development is constrained by high viscosity, complex pressure–temperature behaviour, unfavourable mobility and substantial hydraulic losses during production.

The Dnieper-Donets Basin is one of the principal hydrocarbon-bearing regions of Ukraine and contains reservoirs with significant geological and technological complexity. Deep heavy oil resources within the basin are therefore a relevant object for advanced modelling and Enhanced Oil Recovery (EOR) research. Their development requires an integrated assessment because reservoir performance cannot be adequately represented by considering fluid properties, reservoir depletion and well performance separately.

Modern petroleum engineering provides a range of numerical and analytical tools for such integrated evaluation. Petroleum Engineering software suites, including PVTP, PROSPER and MBAL, enable PVT behaviour, well inflow/outflow performance and reservoir material balance to be evaluated within a consistent engineering workflow. Coupling these approaches with thermodynamic simulation creates a methodological basis for identifying technically and energetically feasible heavy oil recovery strategies.

Objective of the research. The objective of the research is to develop an integrated modelling and methodological framework for optimising heavy oil recovery from deep Ukrainian reservoirs, with particular emphasis on the Dnieper-Donets Basin. The framework is intended to establish relationships between reservoir-fluid properties, pressure and temperature conditions, wellbore hydraulics, artificial-lift operation and EOR performance.

The principal research hypothesis is that optimisation of deep heavy oil production should be performed as an integrated reservoir–well–surface problem rather than through independent optimisation of individual components. Such an approach makes it possible to identify operating constraints that may remain invisible when reservoir and production-system models are analysed separately.

Research methods. The proposed workflow begins with the characterisation of reservoir fluids and PVT properties. Pressure–volume–temperature relationships are evaluated to

determine the behaviour of the heavy oil under reservoir and production conditions. Particular attention is given to viscosity variation with pressure and temperature because viscosity directly affects mobility and therefore the pressure losses required to deliver reservoir fluids to the surface.

The second stage involves thermodynamic and reservoir evaluation. Reservoir pressure, temperature, fluid properties and production characteristics are incorporated into a material-balance and reservoir-performance assessment. MBAL-type calculations can be used to establish the relationship between reservoir depletion, fluid withdrawal and cumulative production.

The third stage couples reservoir behaviour with well performance. PROSPER-type well modelling enables inflow and outflow relationships to be evaluated together with artificial-lift requirements. This is especially important for deep heavy oil reservoirs because substantial frictional and hydrostatic pressure losses may restrict production even when sufficient reservoir energy remains available.

The integrated workflow can therefore be represented as:

PVT characterisation → thermodynamic evaluation → reservoir modelling → well-performance modelling → EOR scenario simulation → production optimisation.

Within this framework, EOR scenarios can be assessed by varying the principal operating parameters and evaluating their influence on pressure distribution, fluid mobility, well deliverability and recovery. Depending on the geological and thermodynamic characteristics of a particular reservoir, candidate approaches may include thermal stimulation, pressure-maintenance mechanisms or other mobility-enhancement techniques.

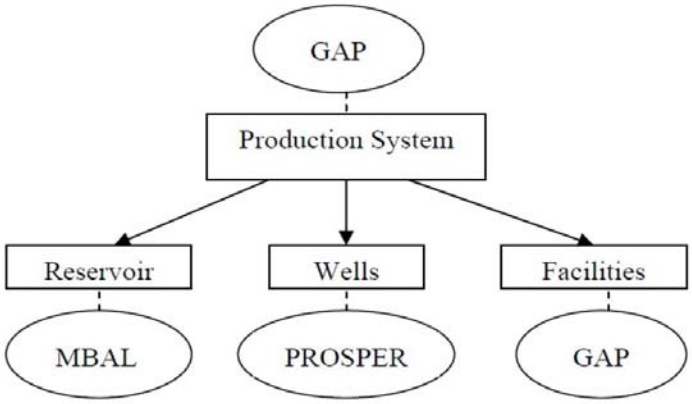


Fig. 1. Integrated production modelling architecture for reservoir, well and surface-system optimisation

Results and novelty. The principal scientific and methodological result is the development of an integrated framework that connects reservoir-fluid thermodynamics with well and production-system behaviour. This is particularly relevant to deep heavy oil reservoirs, where apparently favourable reservoir conditions may not translate into economically or technically feasible well production.

The framework provides several advantages for EOR screening. First, PVT and thermodynamic analysis establishes the physical limits within which a recovery technology can operate. Second, reservoir modelling identifies the expected pressure response and depletion behaviour. Third, well modelling determines whether the resulting reservoir conditions can be translated into stable surface production. Consequently, an EOR scenario is not evaluated solely according to its theoretical increase in displacement efficiency but according to its compatibility with the complete production system.

An important feature of the methodology is the possibility of evaluating sensitivity to key parameters before field-scale implementation. For example, changes in fluid viscosity, reservoir pressure, temperature or artificial-lift operating conditions can be propagated through the modelling chain. This allows critical bottlenecks to be identified and reduces the risk of selecting an EOR method that is theoretically effective but operationally unsuitable.

For Ukraine, this methodological capability has strategic significance. Deep heavy oil resources require greater technological input than conventional reservoirs, and investment decisions therefore depend strongly on the reliability of pre-development forecasts. Integrated modelling can reduce uncertainty by establishing a quantitative connection between geological assumptions, fluid behaviour, well deliverability and expected recovery.

The novelty of the proposed approach lies in treating heavy oil recovery optimisation as an integrated thermodynamic and production-system problem. Rather than selecting an EOR technology independently from well and reservoir constraints, the methodology provides a common modelling environment in which these factors can be evaluated simultaneously.

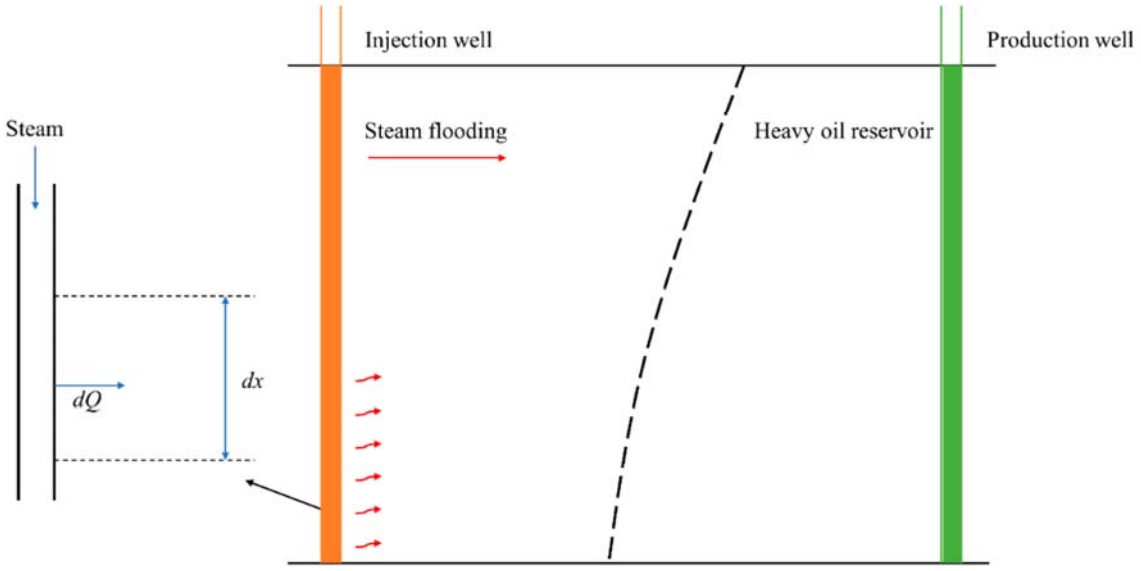


Fig. 2. Schematic representation of thermal EOR in a heavy-oil reservoir

The practical outcome is a methodological basis for ranking technically feasible development scenarios according to their predicted production response and operating constraints. Such pre-field evaluation can support the transition from geological resource potential to technically justified development projects.

Summary. The development of deep heavy oil resources in the Dnieper-Donets Basin can contribute to the expansion of Ukraine's domestic hydrocarbon resource base and, consequently, to strengthening national energy independence. However, the high viscosity, depth and complex pressure–temperature conditions of these reservoirs require an integrated engineering approach.

The proposed methodology combines PVT analysis, thermodynamic simulation, reservoir material-balance evaluation and well-performance modelling within an integrated asset modelling workflow. The coupling of reservoir and well models makes it possible to identify technological constraints and assess EOR scenarios under realistic production conditions.

The methodological framework therefore provides a basis for reducing uncertainty before field implementation, improving the selection of EOR strategies and increasing the probability of technically successful development of complex Ukrainian heavy oil resources. Its further application to representative reservoirs of the Dnieper-Donets Basin can support quantitative optimisation of recovery factors and contribute to the development of Ukraine's domestic energy potential.

References

Ahmed, T. (2019). *Reservoir engineering handbook* (5th ed.). Gulf Professional Publishing.

Dake, L. P. (1978). *Fundamentals of reservoir engineering*. Elsevier.

Green, D. W., & Willhite, G. P. (1998). *Enhanced oil recovery*. Society of Petroleum Engineers.

Lake, L. W. (1989). *Enhanced oil recovery*. Prentice Hall.

УДК 553.04

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ МІНЕРАЛЬНО-СИРОВИННОЇ БАЗИ УКРАЇНИ, НА ПРИКЛАДІ РОДОВИЩ МАРМУРІВ ТА ДОЛОМІТІВ РАХІВСЬКОГО РАЙОНУ ЗАКАРПАТСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Голтуренко І.П., *ORCID ID 0009-0000-5744-8883, ivan.golturenko@saulyak.com.ua,*
Волобаєв І.І., *ORCID ID 0000-0002-4158-8256, igor.volobaiev@saulyak.com.ua,*
ТОВ «Сауляк», с. Ділове, Україна

Розглянуто питання перспектив видобутку мармурів та доломітів у Рахівському районі Закарпатської області для розвитку громад та наповнення їх бюджету. Описано геологічну та тектонічну будову району, зокрема триярусну структуру Мармарошського кристалічного масиву та основні покрови. Проаналізовано родовища мармуру (Трибушанське, Довгоруньське та ін.) і доломітів (Кузинське та ін.), що характеризуються високою якістю сировини, придатної для різних галузей промисловості..

Ключові слова: доломіт, мармур, видобуток.

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF THE MINERAL RESOURCE BASE OF UKRAINE, ON THE EXAMPLE OF MARBLE AND DOLOMITE DEPOSITS OF RAKHIV DISTRICT, ZAKARPATTIA REGION

Golturenko I., *ORCID ID 0009-0000-5744-8883, ivan.golturenko@saulyak.com.ua,*
Volobaiev I., *ORCID ID 0000-0002-4158-8256, igor.volobaiev@saulyak.com.ua;*
Saulyak LLC, Dilove village, Ukraine

Amendments to legislation related to the state examination and assessment of mineral reserves by the State Commission of Ukraine on Mineral Resources have been outlined. Debatable issues discussed during the state examination procedure and those requiring further research have been defined. Methodical approaches to solving these issues will allow us to improve and simplify the state examination procedure.

Keywords: dolomite, marble, extraction.

Вступ. Закарпатська область, зокрема Рахівський та прилежні райони досить часто розглядаються як регіони суто тваринництва, лісового та рекреаційного господарства. Проте регіон має більше ніж сторічну традицію гірничого видобутку. Починаючи з XIX сторіччя на Рахівщині активно розроблялися родовища нерудної сировини, залізних руд, поліметалів тощо. Регіон є потенційно перспективний на такі родовища як кам'яна сіль, цеоліти, барит, перліт, каолін, бентонітові глини, цегельно-черепичні та керамзитові глини, мармур, доломіт, вапняк, андезит, базальт, вулканічні туфи, пісковик, будівельний пісок, піщано-гравійна суміш, золото, срібло, свинець, цинк та інші. Розвиток гірництва сприятиме ефективному зміцненню громад та залученню великої кількості інвестицій. В цій роботі розглянуте питання видобутку мармурів та доломітів в Рахівському районі, Закарпатської області. Даний тип корисних копалин видобувається в регіоні вже понад сотню років. Також розвиток подібних об’єктів мінімально наносить шкоду екосистемі, яка в деяких частинах цього району є реліктовою.

Рахівський район охоплює найбільш високогірну частину Українських Карпат і морфологічно відноситься до північної частини Рахівського гірського масиву. Відносні перевищення рельєфу тут коливаються від 50 до 200 м, схили гір вкриті лісом, круті 30-40°, нерідко зі скельними виходами, інтенсивно «порізані» крутими ярами та джерелами.

В стратиграфічному плані район відноситься до північно-західного закінчення Мармарошського кристалічного масиву, який більшою своєю частиною розташований на території Румунії. Масив характеризується триярусною будовою.

Нижній ярус складений до-палеозойськими кристалічними утвореннями і слабо метаморфізованими палеозойсько-нижньомезозойськими породами

Середній структурний ярус представлений тріасовими і юрськими теригенними карбонатними, вулканогенно-осадовими і тісно пов'язаними з ними нижньокрейдяними теригенними відкладенням, що розвинуті лише на периферії масиву.

Верхній – відкладенням крейди і палеогену.

Нижній структурний ярус

В геологічній будові району приймають участь складно дислоковані, різні за віком утворення протерозою, палеозою, мезозою і кайнозою. Це метаморфічні, вулканічні та осадові породи, розірвані різними за віком та складом інтрузіями і дайками. Головні утворення району виділяються у слідуючи світи: *білопотокську* (PR_2bp), *діловецьку* (R_3dl), *берлібашську* (V-Є*br*), *мегурську* (V-Є*mg*) і *кузинську* (PZ_2kz). Вони складені гнейсами, кварцитами, філітами з прошарками мармурів і доломітів та слюдяними, кварц-слюдяними і слюдяно-хлоритовими сланцями.

Надзвичайно складна тектонічна будова району підкреслюється великою кількістю різноорієнтованих розривних порушень, що призвели до утворення особливих комплексів порід з тектонічними границями – покровів. На сьогодні, тут виділяється чотири найбільших покриви – Білопотоксьский, Розиський, Діловецький і Берлібашський.

Назва покровів дана за назвою світ, які складають їх фундамент. Виділені тектонічні одиниці розрізняються віком і характером розрізу складаючих їх утворень як фундаменту так і чохла, в зв'язку з чим стратиграфія їх проводиться окремо для кожного з покровів.

Оскільки з часом, обсяги і межі розповсюдження порід, що складають покрови, у різних дослідників змінювались, за основу прийнята остання стратиграфічна схема Б.В. Мацьківа затверджена на НРС Держгеонатра України (1984 р.).

В межах Рахівського району домінуючими є два основні елементи (покрови – Діловецький (основний) та Білопотіксьский (реліктовий).

Діловецький покров утворений пластиною порід, які відносяться до *Діловецької світи* пізнього рифею (R_3dl). Відклади світи виходять на поверхню в долині пот. Сауляк, Біліїв, Білий, Лехе та ін. Світа вперше виділена Кривіним О.Л. в 1955 р., пізніше неодноразово міняла свій об'єм і межі. Складається вона з хлорит-мусковіт-полевошпат-кварцевих сланців, порфіробластових сланців з реліктами гранату і біотіту, двослюдяних сланців з лінзами і проверстками мармурів, амфіболітів, метапорфіритів, хлорит-серицитових сланців, філітовидних сланців, філітів і гнейсів. Потужність світи перевищує 1050м. Умовно в складі світи виділяється дві підсвіти: нижня – карбонатно-сланцева і верхня – порфіробластових сланців. Процеси метаморфізму (прогресивного, регресивного, метасоматозу) змінили склад і текстурно-структурні особливості первинних порід і перетворили їх на діафторити зеленосланцевої фації з реліктами біотиту, гранату, піриту та інші. З підстиляючими і перекриваючими породами діловецька світа має тільки тектонічні контакти. Являючись тектонічною пластиною, в деяких зонах вона насунута на чохол чи фундамент Білопотіксьского покрову. Породи діловецької світи метаморфізовані в умовах фацій біотит-мусковітових гнейсів, з послідуючим широким розвитком процесів ретроморфізму , діафторезу і метасоматозу..

Білопотіксьский покров в геологічній будові Мармарошського кристалічного масиву займає найнижче гіпсометричне положення. Відклади його представлені верхньо-протерозойським фундаментом (білопотіксьска світа) і верхньо-палеозойсько-мезозойським чохлом. На території проведення робіт фіксуються лише відклади верхньо-протерозойського віку – Білопотіксьскою світою.

Білопотіксьска світа (PR_2bp) за складом і ступенем метаморфізму можна корелювати з серією Бретіла, що виділяється на румунській території. Вона розділюється на дві підсвіти: нижню (сланцево-гнейсову) і верхню (гнейсово-

сланцеву). За ступенем метаморфізму породи білопотіківської світи відносяться до епідот-амфіболітової, амфіболітової фації. В верхній частині , в зоні впливу Саулякського насуву, вони нерівномірно, інтенсивно діафторовані, інколи вміщують зони філлонітизація і розсланцювання. В зонах послойного розсланцювання і діафторезу відмічаються зміни високотемпературних мінералів на низькотемпературні. Гранат заміщується хлоритом і біотитом, біотит заміщується хлоритом і рутилом, ставроліт – біотитом, рогова обманка – актинолітом, піроксени – роговою обманкою, іноді серпентином, плагіоклази інтенсивно серицитизовані, а в амфіболітах – хлоритизовані і епідотизовані.

Середній структурний ярус

На різноманітних горизонтах кристалічного фундаменту нижньо-середнього палеозойського віку (PZ_{2-3}), залягає *мунцелульська* (C*mn*) (вуглисто-кварцито-сланцева) і *кузинська* ($T_{1-2}kz$) (карбонатно-філітова) *світи*, і просторово близька до неї товща доломітів середнього тріасу (T_2).

Верхній структурний ярус

Представлений *шопурською* (еоцен) і *великопанською* (середній еоцен – нижній олігоцен) *світами*, сформованих в різних структурно-фаціальних зонах кристалічного масиву.

Метаморфічні і осадові утворення прорвані інтрузіями домезозойського і мезозойського віку. До домезозойських інтрузій віднесені субвулканічні утворення середньо-кислого складу представлені катаклазованими гранітами і гранітогнейсами, а такожнижньопалеозойськими амфіболітами, метадіабазами і метапорфіритами. Мезозойські інтрузії представлені штоковидними і дайковидними тілами габро, габро-діабазових і діабазових порфіритів.

Тектонічна характеристика.

Мармарошський масив – аллохтонне утворення, яке представляє собою або єдиний крупний покров, відірваний від своїх коренів і переміщений на значну віддаль в північно-східному напрямі (Uhlig,1903; Andrusou,1958; Кривін, 1960), або серію пластин (покровів), насунутих один на одного, і в свою чергу – на флішеві Карпати, з різною історією розвитку складаючих ці покрови формаційних комплексів, які здійснили значні горизонтальні переміщення в сторону флішової області (Бизова, 1971; Рудаков, 1974; Хаїн, 1977; Мацькив, 1977, 1981, 1984; Нечепуренко, 1988, 1994, 1997). Крайній, в межах північно-західного закінчення Мармарошського масиву виділяє чотири покрови: Білопотіківський, Розіський, Діловецький і Берлібашський, які в свою чергу насунуті на Радомирський покров (Перехідна зона) і флішеві Карпати. В свою чергу, з південного заходу Мармарошський масив перекритий Монастирецьким покровом.

В процесі формування масиву приймали участь каледонський, герцинський і альпійський етапи тектогенезу, що обумовили плікативну і диз’юнктивну його тектоніку.

На підставі аналізу відкритих джерел даних, на сьогодні можна виділити основні ділянки вздовж долини річки Тиса:

- Трибушанське родовище (с. Ділове, історична назва — Трибушани). Головне промислове родовище регіону, розробку якого веде ПрАТ «Мармуровий кар'єр «Трибушани». Мармури масивні, дрібно- та середньокристалічні, білого, світло-сірого, кремового та смугастого забарвлення. Використовуються переважно для виготовлення декоративної кубовидної крихти різноманітних фракцій, мармурового борошна (мікрокальциту), щебеню, бутового та галтованого каменю. До структури родовища належать ділянки Центральна та Полонинська (зокрема ділянка Полонинська-1).
- Довгоруньське родовище (долина потоку Довгорунь, приблизно 10 км на північ від ст. Берлебаш / с. Ділове). Представлене декоративними зеленувато-сірими та

світло-сірими мармуризованими вапняками, розвіданими як блоковий облицювальний камінь із балансовими запасами за категоріями В+С_1 понад 4,4 млн м³.

- Прибуйське родовище (поблизу Ділового). Характеризується рідкісними темно-сірими й майже чорними мармуризованими вапняками та мармурами. Рокривні товщі тут представлені доломітами високої якості.
- Богданське родовище (басейн річки Квасна, поблизу с. Богдан). Включає низку відокремлених ділянок мармурів і мармуризованих вапняків, що залягають у вигляді лінз та смуг серед метаморфічних сланців.
- Малоросошське родовище (район урочища / потоку Малий Росош). Містить пласти кристалічних мармуризованих порід, що тісно асоціюють із магнезіальними карбонатами.

Доломітові родовища та прояви. Доломіти Рахівщини вирізняються високою хімічною чистотою, щільністю та підвищеною вогнетривкістю:

- Кузинське родовище доломітів (поблизу с. Ділове). Найбільше детально розвідане родовище доломіту в регіоні із запасами понад 56 млн м³ (ресурси оцінюються у понад 220 млн т). Поклад лінзоподібної форми (довжиною до 2,5 км і товщиною до 260–320 м) приурочений до кузинської світи. Сировина відповідає вимогам скляної промисловості, виробництва вогнетривів, металургійних флюсів та сорбентів. Значна частина площі родовища перекривається межами Кузійського масиву Карпатського біосферного заповідника, що накладає жорсткі природоохоронні обмеження на промисловий видобуток.
- Доломіти Прибуйського та Малоросошського родовищ. Залягають у розкриві або перешаровуються з мармурами. Завдяки низькому вмісту заліза придатні як флюс, для отримання керамічних глазурей у фарфоро-фаянсовому виробництві та виготовлення високоефективних магнезіальних сорбентів.
- Поклад у басейні потоку Білий (Білопотоцький). Виявлено товщу фосфоровмісних доломітів потужністю близько 40 м.

Слід відмітити, що видобуток мармурів та доломітів, відіграє важливу роль в історико-етнографічному контексті є однією з важливих ланок ведення традиційного господарства – використання каменю як бут, підпірних стінок, мощення доріг, випалювання вапна, витісування жорнових каменів, хрестів та інших елементів. Також слід відмітити, що останніми роками регіон потерпає від нелегального видобутку мармурів та доломітів, що створює умови та недобросовісну конкуренції для офіційних видобувних підприємств, а отже і негативно впливає на розвиток громади та наповнення бюджету.

Висновки.

Рахівщина є історично гірничо-промисловим регіоном де найбільша частина припадає на видобуток мармурів та доломітів. На сьогоднішній час офіційно зареєстровано 17 родовищ та перспективних ділянок надр, загальний потенціал району, за різними категоріями, становить понад 5349 тис.м^3. Розвиток легального та відповідального гірництва сприятиме зростанню дохідності регіону та розвитку громади.

Список використаних джерел:

1. Вялов, О. С., Даныш, В. В., & Кульчицкий, Я. О. (1981). *Стратиграфия Украинских Карпат*. Наукова думка.

2. Гнилко, О. М. (2011–2016). Геологічна будова та еволюція Українських Карпат. *Праці Наукового товариства ім. Шевченка. Геологічний збірник*.

3. Державна геологічна карта України. Масштаб 1:200 000. Карпатська серія. Аркуші: L-35-XXXVI (Сигіт / Ділове), L-35-XXXV (Хуст) : Пояснювальна записка / ДП «Західукргеологія». Київ : УкрДГРІ.

4. Державний реєстр спеціальних дозволів на користування надрами. (2026). Державна служба геології та надр України. https://www.geo.gov.ua/

5. Інтерактивна карта родовищ корисних копалин України. (2026). ДНВП «Геоінформ України». https://geoinf.kiev.ua/

6. Лазаренко, Є. К., Лазаренко, Е. А., Барицький, В. Н., & Малигіна, О. А. (1963). *Мінералогія Закарпаття*. Вид-во Львівського ун-ту.

7. Матковский, О. И., Малаева, И. П., & Акимова, К. Г. (1973). Стратиформные колчедан-полиметаллические месторождения и рудопроявления в Мармарошском массиве Восточных Карпат. *Геологический сборник Львовского геологического общества, 4*, 36–48.

8. Матковський, О. І., Білоніжка, П. М., & Квасниця, В. М. (2003). *Мінерали Українських Карпат. Оксиди, гідроксиди, карбонати, сульфати, галогеніди, оксисолі*. Видавничий центр ЛНУ ім. Івана Франка.

References

Vyalov, O. S., Danysh, V. V., & Kulchytsky, Ya. O. (1981). *Stratigrafiya Ukrainskikh Karpat* [Stratigraphy of the Ukrainian Carpathians]. Naukova Dumka.

Hnylko, O. M. (2011–2016). Heolohichna budova ta evoliutsiia Ukrainskykh Karpat [Geological structure and evolution of the Ukrainian Carpathians]. *Pratsi Naukovoho tovarystva im. Shevchenka. Heolohichnyi zbirnyk* [Proceedings of the Shevchenko Scientific Society. Geological Collection].

State Geological Enterprise "Zakhidukrheolohiia". (n.d.). *Derzhavna heolohichna karta Ukrainy masshtabu 1:200 000. Karpatska seriia. Arkushi: L-35-XXXVI (Syhit / Dilove), L-35-XXXV (Khust): Poiasniuvalna zapyska* [State geological map of Ukraine, scale 1:200,000. Carpathian series. Sheets: L-35-XXXVI (Sighetu Marmației / Dilove), L-35-XXXV (Khust): Explanatory note]. UkrDGRI.

State Service of Geology and Subsoil of Ukraine. (2026). *Derzhavnyi reiestr spetsialnykh dozvoliv na korystuvannia nadramy* [State register of special permits for subsoil use]. https://www.geo.gov.ua/

State Subsoil Information Fund of Ukraine "Geoinform of Ukraine". (2026). *Interaktyvna karta rodovyshch korysnykh kopalyn Ukrainy* [Interactive map of mineral deposits of Ukraine]. https://geoinf.kiev.ua/

Lazarenko, Ye. K., Lazarenko, E. A., Barytskyi, V. N., & Malyhina, O. A. (1963). *Mineralohiia Zakarpattia* [Mineralogy of Transcarpathia]. Lviv University Press.

Matkovsky, O. I., Malaeva, I. P., & Akimova, K. G. (1973). Stratiformnye kolchedan-polimetallicheskie mestorozhdeniya i rudoproyavleniya v Marmaroshskom massive Vostochnykh Karpat [Stratiform pyrite-polymetallic deposits and ore occurrences in the Marmarosh massif of the Eastern Carpathians]. *Geologicheskiy sbornik Lvovskogo geologicheskogo obshchestva* [Geological Collection of the Lviv Geological Society], *4*, 36–48.

Matkovskyi, O. I., Bilonizhka, P. M., & Kvasnytsia, V. M. (2003). *Mineraly Ukrainskykh Karpat. Oksydy, hidroksydy, karbonaty, sulfaty, haloidy, oksysoli* [Minerals of the Ukrainian Carpathians. Oxides, hydroxides, carbonates, sulfates, halides, oxysalts]. Ivan Franko National University of Lviv Publishing Centre.

УДК 553.632 (477.8)

ЛІТОЛОГІЧНІ ДОКАЗИ СИНСЕДИМЕНТАЦІЙНИХ ТЕКТОНІЧНИХ РОЗЛОМІВ У ПЕРЕДКАРПАТСЬКОМУ СОЛЕРОДНОМУ БАСЕЙНІ

Гринів С.П., *к. геол.-мін. н., ст. н. с., https://orcid.org/0000-0001-9721-1290, sophia_hryniv@ukr.net,*
Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, Львів, Україна

Червона полігалітова порода Калуш-Голинського та Стебницького родовищ калійних солей Передкарпатського прогину має ознаки седиментаційного утворення в солеродному басейні – тонкошарувату текстуру, короткі голчасті кристали полігаліту, орієнтовані вздовж шаруватості. В часі її утворення – на стадії осадження калійних солей, розсоли солеродного басейну вже не містили Кальцію, а умови залягання (пачок, які по простяганню переходять у шари і тонкі шари) свідчать про її утворення, пов'язане з синседиментаційними тектонічними розломами у солеродних басейнах Передкарпатського прогину. Джерелом Кальцію для червоної полігалітової породи були підсольові розчини, які по синседиментаційних тектонічних розломах потрапляли у міоценові солеродні басейни Передкарпатського прогину.

Ключові слова: червона полігалітова порода, солеродні басейни, Передкарпатський прогин, синседиментаційні тектонічні розломи.

LITHOLOGY EVIDENCE OF SYNSEDIMENTARY TECTONIC FAULTS IN THE CARPATHIAN FOREDEEP SALT BASIN

Hryniv S., *Ph.D., Senior Scientist, https://orcid.org/0000-0001-9721-1290, sophia_hryniv@ukr.net,*
Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals of NASU, Lviv, Ukraine

The red polyhalite rock of the Kalush-Holyn and Stebnyk potash deposits of the Carpathian Foredeep exhibits characteristics of a sedimentary formation within a salt-depositing basin – specifically, a finely laminated texture and short, acicular polyhalite crystals oriented parallel to the bedding. By the time of its formation – during the potash salt precipitation stage – the basin brines were already devoid of calcium; furthermore, the conditions of occurrence (with units transitioning laterally into beds and laminae) indicates that the rock formed in association with synsedimentary tectonic faults within the salt-depositing basins of the Carpathian Foredeep. The source of calcium for the red polyhalite rock was sub-salt brines that migrated into the Miocene salt-depositing basins of the of the Carpathian Foredeep via synsedimentary tectonic faults.

Keywords: red polyhalite rock, salt-depositing basins, Carpathian Foredeep, synsedimentary tectonic faults.

Вступ. Тектонічна активність притаманна складчастим областям та їхнім передовим прогинам, тектонічні рухи відбувалися і підчас нагромадження осадків – на стадії седиментогенезу. Синседиментаційні тектонічні події залишають свій відбиток у геологічному розрізі порід – порушення цільності окремих верств внаслідок землетрусів [4], осувні явища – сповзання нелітифікованого осадку при зміні кута нахилу дна басейну, зміни товщини та складу порід, викликані переміщеннями блоків фундаменту.

Метою дослідження – на основі літологічних особливостей однієї із різновидностей полігалітової породи Калуш-Голинського та Стебницького родовищ калійних солей показати, що її утворення пов'язане з синседиментаційними тектонічними рухами у міоценових солеродних басейнах Передкарпатського прогину.

Геологічний нарис. Передкарпатський прогин поділяється на три зони: Бориславсько-Покутська та Самбірська, алохтонні, насунені на автохтонну Більче-Волицьку, розташовану на схилі Східноєвропейської платформи. Соленосні відклади залягають у всіх трьох зонах, у перших двох – Бориславсько-Покутській та Самбірській зонах вони представлені кам'яною сіллю та калійними солями, тут розміщені родовища калійних солей – Стебницьке (воротищенська світа) та Калуш-Голинське (балицькій світа), у Більче-Волицькій зоні залягають гіпси, та кам'яна сіль (тираська світа) [5]. Калуш-Голинське родовище калійних солей, вік та належність до світи якого є дискусійними, відповідно до регіональної стратиграфічної схеми відноситься до балицької світи, яка охоплює карпатський та частину баденського ярусів міоцену [5]. Алохтонний комплекс ускладнений численними поздовжними насувами і поперечними порушеннями різного порядку.

Фундамент Передкарпатського прогину складений палеозойськими та мезозойськими відкладами, розбитими порушеннями субкарпатського простягання та поперечними розривами північно-східного напрямку на блоки. Блоки та скиди, що їх ограничують, у юрському і неогеновому часі розвивалися одночасно з накопиченням осадів. Їхній конседиментаційний розвиток підтверджується зміною потужностей у суміжних блоках [3].

У міоценовому Передкарпатському басейні солі відкладалися тричі – у егенбурському та карпатсько-баденському басейнах відкладалися кам'яна сіль та калійні солі, у баденському – переважно гіпси та ангідрити.

Літологічні особливості червоної полігалітової породи. Міоценові калієносні відклади Калуш-Голинського та Стебницького родовищ дуже схожі за складом порід та мінералів. Вони представлені каїнітовою, лангбейнітовою та каїніт-лангбейнітовою (полімінеральною) породами, сильвінітом, пачками складеними чергуванням шарів кам'яної солі та глини; у цих породах полігаліт залягає у вигляді окремих шарів або є породотвірним мінералом. Тут трапляються кілька літологічних різновидностей полігалітової породи: сіра, червона полігалітова порода, полігаліт-ангідритові шари, які відрізняються структурно-текстурними особливостями, а також умовами залягання та утворення [6, 7]. У цій роботі наша увага звернена на особливості червоної полігалітової породи в зв'язку з незвичайними умовами її утворення, пов'язаними з синседиментаційними тектонічними рухами у Передкарпатському солеродному басейні.

Червона полігалітова порода в калієносних відкладах Калуш-Голинського та Стебницького родовищ трапляється не повсюдно. Вона залягає в місцях виклинювання покладів калійних солей, пов'язаних з поперечними розломами, у вигляді пачок товщиною 0,5–1,5 м. По простяганню суцільні пачки полігалітової породи переходять у окремі шари 0,5–3 см, розділені пачками кам'яної солі та глини чи калійних порід. Далі товщина шарів полігалітової породи зменшується і вони розділяються більшими товщами галогенних порід.

Для червоної полігалітової породи характерна тонкошарувата текстура, представлена чергуванням шарів чистого (рожевого, червоного) та глинистого (темно-червоного, сірувато-червоного) полігаліту товщиною перші сантиметри. Порода складена дрібними голчастими кристалами полігаліту, орієнтованими видовженням вздовж шаруватості.

Проби червоної полігалітової породи були проаналізовані K-Ar методом для визначення радіометричного віку (Таблиця) [8]. Визначення віку проводилося не для оцінки часу утворення полігаліту (як заздалегідь було відомо, полігаліт, як і інші соляні мінерали, були перекристалізовані), а з метою доповнення уявлень про перебіг геохімічних та мінералоутворюючих процесів, які відбувалися в цих відкладах. Обидві породи з Калуш-Голинського та Стебницького родовищ мають близький радіометричний вік – 11,39–12,63 млн р (це за вилученням найбільшого та найменшого визначень – 8,29 і 14, 67), що вказує, що вони були перекристалізовані в один час.

Таблиця

Прив'язка зразків, літологічна характеристика та радіометричний вік червоної полігалітової породи

№ проби	Прив'язка (родовище, пласт, горизонт)	Коротка літологічна характеристика	Радіометричний вік, K-Ar метод, млн. р.
2204	Стебницьке, пл. 13, гор.2 (+180 м)	шари чистого червоного і глинистого полігаліту з пачки потужністю 1,5 м	8,30
2206	Стебницьке, пл. 13, гор.2 (+180 м)		12,27
72	Стебницьке, пл.11, гор.4	тонкошаруватий полігаліт з пачки потужністю 0,5 м	11,89
20	Стебницьке, пл.19	масивний шар чистого полігаліту в основі лангбейніт-каїнітового пласта	12,63
2188	Калуш-Голинське, пл. ЛК-3, гор. +90	шари червоного полігаліту 3–8 мм в шарі 0,2 м з глиною і галітом	14,70
2179	Калуш-Голинське, пл. ЛК-1/2, гор. +140	шари чистого полігаліту, які чергуються з шарами глини і галіту	11,40

Обговорення. Утворення полігаліту. У даній роботі ми хочемо зосередитися на питаннях, які дещо випали з уваги дослідників – первинна форма виділення мінералу – полігаліт чи гіпс та джерело кальцію.

Як відомо, при згущенні розсолів полігаліт випадає як перший калієвмісний мінерал. При подальшому згущені у сульфатних розсолах Кальцію вже немає, і утворення полігаліту можливе лише при додатковому його приносі.

За сучасними уявленнями у Передкарпатському міоценовому солеродному басейні на стадії осадження калійних солей існувала двохшарова модель: нижній шар насичених розсолів більшої густини, по поверхні якого розтікалися порції нових дещо згущених розсолів, утворюючи верхній шар; при їх випаровуванні випадали калійні солі. Підтвердженням такої моделі можуть служити шари кам'яної солі висолювання, які залягають в товщі калієносних відкладів (на стадії осадження калійних солей в ропі басейну теж вже недостатньо NaCl для утворення шарів кам'яної солі).

Для шарів сірої полігалітової породи кальцій був принесений із більшими порціями згущеної морської води та теригенним матеріалом. Один з таких шарів Калуш-Голинського родовища товщиною 10 см добре виділяється на фоні калієносних порід і був виділений С. С. Коренем у складі маркуючої пачки. Літологічні особливості сірої полігалітової породи свідчать, що первинним кальцієвим мінералом був гіпс, який відразу, у ще не літифікованій породі переходив у полігаліт. Полігаліт, який утворився з гіпсу, має більший об'єм, що привело до зім'ятого, зігнутого залягання шару сірої полігалітової породи [1].

Полігаліт-ангідритові шари утворилися на геохімічному бар'єрі в результаті хімічної реакції розсолів двох хімічно нерівноважних типів: сульфатного – з покладів калійних солей і хлор-кальцієвого – з соленосної брекчії, які на стадії пізнього діагенезу відтискалися з порід при тектонічних рухах (насувоутворенні). В результаті реакції випадали безпосередньо полігаліт та ангідрит – перший зі сторони пласта, другий – зі сторони соленосної брекчії [2].

На утворення червоної полігалітової породи немає єдиного погляду. Шаруватість породи, чергування шарів чистого та глинистого полігаліту, лінзочки та прошарки галіту могли б свідчити про седиментаційний генезис цієї породи, але відсутність Кальцію в ропі басейну садки калійних солей та залягання її в місцях тектонічного виклинювання покладів калійних солей дозволяє припустити зв'язок її утворення з тектонічними процесами. На нашу думку, полігалітова порода утворилася біля синседиментаційного тектонічного розлому в солеродному басейні. Підсольові води, які містили Кальцій, потрапляючи по розлому у солеродний басейн, розтікалися по поверхні концентрованих сульфатних розсолів, в результаті реакції випадали дрібні голчасті кристалики полігаліту. Ближче до розлому відклалися пачки суцільної полігалітової породи, далі по простяганню вони переходили в окремі шари щораз меншої товщини. Ознаки випадіння полігаліту в солеродному басейні (тонкі горизонтальні шари полігалітової породи, короткі голчасті кристали полігаліту), пояснене джерело Кальцію, підтверджують зв'язок утворення червоної полігалітової породи з синседиментаційними тектонічними розломами в солеродних басейнах.

Відсутність істотної відмінності отриманих значень віку червоної полігалітової породи з Калуш-Голинського та Стебницького родовищ може свідчити про регіональне геологічне явище, яке мало вплив на перекристалізацію полігаліту обох родовищ. Таким явищем могли бути тектонічні процеси – насування Бориславсько-Покутської та Самбірської зон Передкарпатського прогину на Більче-Волицьку та фази складчатості. Початок цих явищ пов'язують з сарматом (13,0 – 11,4 млн. р.) [8].

Літологічні особливості та умови залягання червоної полігалітової породи Калуш-Голинського та Стебницького родовищ калійних солей свідчать про її утворення, пов'язане з синседиментаційними тектонічними розломами у солеродних басейнах Передкарпатського прогину. Джерелом Кальцію для червоної полігалітової породи були

підсольові розчини, які по синседиментаційних тектонічних розломах потрапляли у міоценові солеродні басейни.

Список використаних джерел:

1. Гринив, С. П. (1989). Условия формирования пород маркирующих слоев калиеносных отложений Предкарпатского прогиба (на примере Калуш-Голынского месторождения): *Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук.* Киев. 17 с.
2. Гринив, С. П. (1990). Условия образования ангидрит-полигалитовых слоев калиеносных отложений Предкарпатья. *Условия образования месторождений калийных солей.* (сс. 181–189) Новосибирск : Наука.
3. *Карпатська нафтогазоносна провінція* (2004) /Національна академія наук України; Інститут геології і геохімії горючих копалин; Національна акціонерна компанія "Нафтогаз України", ДП "Науково-дослідний інститут нафтогазової промисловості"; В. В. Колодій, Г. Ю. Бойко, Л. Е. Бойчевська та ін. – Львів–Київ: ТОВ "Український Видавничий центр".
4. Перит, Т. М., Перит, Д. Т., & Побережський, А. В. (2008). Фації ламінованих баденських гіпсів у Кудринцях над Збручем (Західна Україна). *Сучасні проблеми літології та мінералогії осадових басейнів України та суміжних територій: зб. наук. пр.* / голов.ред. П.Ф.Гожик. Київ. (сс.140–145).
5. Рудько, Г. І., & Петришин, В. Ю. (2017). *Соляні ресурси Передкарпаття та перспективи їх використання.* Київ; Чернівці: Букрек.
6. Садовий, Ю. В., & Садовий, Ю. Ю. (2012). Полігаліт галогенних формацій Передкарпаття: форми знаходження, генезис та розшукове значення. *Мінералогічний збірник*, 62(2), 216–227.
7. Hryniv, S. P. (2000). Polyhalite in Miocene potash deposits of the Carpaitian Foredeep, Ukraine. Abstr. of the International conference «Minerals of the Carpathians», (Miskolc, March 9–10, 2000). *Acta Mineralogica-Petrografica,* XLI, Abstract, Supplementum. Szeged. 54.
8. Wójtowicz, A., Hryniv, S. P., Peryt, T. M., Bubniak, A., Bubniak, I., & Bilonizhka, P. M. (2003). K-Ar dating of the Miocene potash salts of the Carpathian Foredeep (West Ukraine): application to dating of tectonic events. *Geologica Carpatica*, 54(4), 243–249.

References

Hryniv, S. P. (1989). Uslovyia formyrovanyia porod markyruiushchykh sloev kalyenosnykh otlozhenyi Predkarpatskoho prohyba (na prymere Kalush-Holynskoho mestorozhdenyia): Avtoref. dys. ... kand. heol.-myn. nauk. Kyev. 17 s. [in Russian]

Hryniv, S. P. (1990). Uslovyia obrazovanyia anhydryt-polyhalytovykh sloev kalyenosnykh otlozhenyi Predkarpatia. *Uslovyia obrazovanyia mestorozhdenyi kalyinykh solei*. (ss. 181–189) Novosybyrsk : Nauka. [in Russian]

Karpatska naftohazonosna provintsiia (2004) /Natsionalna akademiia nauk Ukrainy; Instytut heolohii i heokhimii horiuchykh kopalyn; Natsionalna aktsionerna kompaniia "Naftohaz Ukrainy", DP "Naukovo-doslidnyi instytut naftohazovoi promyslovosti"; V. V. Kolodii, H. Yu. Boiko, L. E. Boichevska ta in. – Lviv–Kyiv: TOV "Ukrainskyi Vydavnychyi tsentr". [in Ukrainian]

Peryt, T. M., Peryt, D. T., & Poberezhskyi, A. V. (2008). Fatsii laminovanykh badenskykh hipsiv u Kudryntsiakh nad Zbruchem (Zakhidna Ukraina). *Suchasni problemy litolohii ta mineralohii osadovykh baseiniv Ukrainy ta sumizhnykh terytorii: zb. nauk. pr.* / holov.red. P.F.Hozhyk. Kyiv. (ss.140–145). [in Ukrainian]

Rudko, H. I., & Petryshyn, V. Yu. (2017). *Soliani resursy Peredkarpattia ta perspektyvy yikh vykorystannia.* Kyiv; Chernivtsi: Bukrek. [in Ukrainian]

Sadovyi, Yu. V., & Sadovyi, Yu. Yu. (2012). Polihalit halohennykh formatsii Peredkarpattia: formy znakhodzhennia, henezys ta rozshukove znachennia. *Mineralohichnyi zbirnyk*, 62(2), 216–227. [in Ukrainian]

Hryniv, S. P. (2000). Polyhalite in Miocene potash deposits of the Carpaitian Foredeep, Ukraine. Abstr. of the International conference «Minerals of the Carpathians», (Miskolc, March 9–10, 2000). Acta Mineralogica-Petrografica, XLI, Abstract, Supplementum. Szeged. 54.

Wójtowicz, A., Hryniv, S. P., Peryt, T. M., Bubniak, A., Bubniak, I., & Bilonizhka, P. M. (2003). K-Ar dating of the Miocene potash salts of the Carpathian Foredeep (West Ukraine): application to dating of tectonic events. *Geologica Carpatica*, 54(4), 243–249.

УДК 550.832(552.1:53)

ОСОБЛИВОСТІ ОЦІНКИ РЕСУРСНОЇ БАЗИ БАДЕН-САРМАТСЬКОЇ ГАЗОНОСНОЇ ТОВЩІ В ЗОНІ ЗЧЛЕНУВАННЯ САМБІРСЬКОЇ ПОКРОВУ ІЗ КРУКЕНИЦЬКОЮ ЗАПАДИНОЮ

Михайловський І.З[1]., *докт. філос. наук про землю, 0009-0007-7948-4026, igormykhailovskyi@ukr.net;*
Андрейчук М.М[2]., *к. геол. н.**,** geoburproekt@ukr.net;*
Дучук С.В[3]., *аспірант, 0009-0004-6384-7054, duchuk@ukr.net,*
1 – ТзОВ «БУРПРОЕКТ», м. Львів, Україна,
2 – ПП «ГЕОБУРПРОЕКТ», Львів, Україна,
3 – ДГП «УКРГЕОФІЗИКА» ЗУГРЕ, Львів, Україна,

Основна частина геологічних об'єктів, виявлених сейсмічними дослідженнями та підтверджених глибоким бурінням, на предмет нафтогазоносності вивчена, тому на порядок денний виходить потреба залучення в геолого-розвідувальний процес нових нерозвіданих, або частково вивчених на предмет нафтогазоносності ділянок, які відрізняються від задіяних в нафтогазопромисловому комплексі складною геологічною будовою та своєрідними типами вуглеводневих пасток.

Ключові слова: прогин, западина, прибортова частина, тектонічні порушення, поверхня розмиву.

SPECIFICS OF ASSESSING THE RESOURCE BASE OF THE BADEN-SARMATIAN GAS-BEARING SEQUENCE IN THE JUNCTION ZONE BETWEEN THE SAMBIR NAPPE AND THE KRUKENYCHI DEPRESSION

Mykhailovskyi I.[1], *0009-0007-7948-4026, igormykhailovskyi@ukr.net;*
Andreychuk M.[2], *geoburproekt@ukr.net;*
Duchuk S.[3], *0009-0004-6384-7054, duchuk@ukr.net,*
1 – LLC «BURPROEKT», Lviv, Ukraine,
2 – PE "GEOBURPROEKT", Lviv, Ukraine,
3 – DSGE "Ukrgeofizyka", Lviv, Ukraine

The majority of geological objects discovered by seismic surveys and confirmed by deep drilling have been studied for oil and gas potential, so the agenda is to involve new unexplored or partially studied areas for oil and gas potential in the geological exploration process, which differ from those involved in the oil and gas industry complex in their complex geological structure and unique types of hydrocarbon traps.

Keywords: sag, depression, flank zone, tectonic disturbances, erosion surface.

Вступ. Газоносність Крукеницької западини, як найбільш опущеної частини Зовнішньої зони Передкарпатського прогину, пов'язана з родуктивними горизонти верхньо-та нижньодашавської підсвіт раннього сармату. В межах Дрогобицького газового родовища, приуроченого до південного сходу прибортової частини Крукеницької западини, промислово-геофізичними дослідженнями виявлені газонасичені верстви в теригенному розрізі косівської світи верхнього бадену. Загальний поверх газоносності ділянки досліджень досягає 3,5 км.

Відкриті газові і газоконденсатні поклади та ймовірні, встановлені за даними промислово-геофізичних досліджень, приурочені до пачок і окремих піщано-алевролітових пластів з кондиційними ємнісно-фільтраційними властивостями (Кп гран.=9,0%, Кв. залишк.=63%, і К проникн=016х10-3мкм2)..

Виклад основного матеріалу. За літологічним складом верхньодашавська підсвіта представлена переважно глинами сірими, темно-сірими, зеленувато-сірими, вапнистими, слюдистими, піскуватими, досить щільними з прошарками пісків, слабозцементованих дрібнозернистих пісковиків, алевролітів і туфів. Рідше зустрічаються прошарки мергелів та бентонітових глин, часто спостерігаються рослинні рештки та пірит. В розрізі підсвіти виділяються горизонти ВД-1 – ВД-14. На більшій території Зовнішньої зони прогину підсвіта згідно залягає на відкладах нижньодашавської. Породи відрізняються від

нижньодашавських меншою піскуватістю розрізу та збагаченістю туфітовим матеріалом. Суттєві перерви осадконагромадження в розрізі верхньодашавської підсвіти не виявлені. В межах значної частини Крукеницької западини та її північно-східного схилу вони поступово зрізаються Стебницьким насувом [1].

В розрізі нижньодашавської підсвіти за літологічними особливостями виділяється 17 стратиграфічних горизонтів (НД 1 – НД-17). Горизонти НД-16 і НД-17 поступово появляються на найбільш заглиблених ділянках донеогенового палеорельєфу. Вміст пісковиків та алевролітів в товщі нижньодашавської підсвіти мінливий по площі, що затруднює їх попластову кореляцію. В регіональному відношенні піскуватість розрізу на північно-східному схилі западини поступово зменшується.

Відклади косівської світи верхнього бадену у нижній частині представлені пачкою зеленуватих глин із прошарками алевролітів, туфів і туфітів. Наявність туфогенних відкладів свідчить про близькість ділянки активних тектонічних рухів, що вірогідніше всього, відбувались в зоні формування молодої Карпатської споруди. Над ними в межах Крукеницької западини залягає товща одноманітних сірих аргілітоподібних вапнистих глин, які по своєму обліку нагадують глибоководні відклади нижньої частини субліторалі чи псевдоабісалі. Глини та аргіліти темно-сірі слюдисті сланцюваті з рідкими прошарками світло-сірих кварцевих слюдистих алевролітів і пісковиків. На поглиблених ділянках палеорельєфу Крукеницької западини загальна товщина косівської світи відчутно зростає і досягає 600-700 м.

Однією з характерних особливостей відкладів баден-сарматського теригенного комплексу Крукеницької западини та її північно-східного схилу, є тонкошаруватість і ритмічність розрізу. У підошві ритму відмічені тонкі прошарки глинистих порід, які до покрівлі поступово заміщуються пісковиками та алевролітами. Покрівля ритму в сарматському ярусі, майже повністю виповнена піщано-алевролітистими літотипами. Закінчення ритму відмічається різкою заміною піщано-алевролітистих порід глинами. У підошві цих глин часто відмічені незначні за товщиною прошарки туфів і туфітів [2]

В тектонічному відношенні основа Крукеницької западини гетерогенна і сформована під дією багатьох фаз складчатості. В її межах комплекс неогену залягає на сильно дислокованих утвореннях ранніх байкалід, які по північно-східному схилу змінюються елементами пізньобайкальської, каледонської і кімерійсько-ранньоальпійської складчатості.

У формуванні донеогенововоо ложа основна роль відводиться донеогеновим ерозійним процесам [3]. Одним із основних факторів, що підтверджу ерозійну при роду западини є структура північно-східного схилу, крутизна якого вниз по розрізу стрімко зростає, наближаючись до вертикального положення. Сам схил в основних рисах орієнтований по Краковецькому глибинному розлому, період розвитку якого припадає на донеогеновий час. Інтенсивність донеогенового розмиву зростає вздовж розлому в південно-східному напрямку – від невеликих значень на території Польщі, де в північно-західному напрямку на відстані 12,5 км від державного кордону з Україною схил повністю нівелюється , до 4,5-5 км в зоні перетину з Передкарпатським розломом.(Рис.1,2).

По мірі седиментаційної компенсації від'ємних форм палеорельєфу в зонах зі значною крутизною утворились каскади гравітаційних безкореневих скидів, амплітуди яких в межах північно-східного схилу Крукеницької западини перевищують сотні метрів. Часто вони ускладнені менш вираженими антитетичними розривними дислокаціями. Вони формують східцеподібні каскади повздовжніх гравігенних уступів.

Газоносність верхніх молас та типи покладів. Основний газоносний комплекс Крукеницької западини та її північно-східного схилу– теригенні відклади нижнього сармату. Окремі газоносні пласти та пропластки промислово-геофізичними дослідженнями виявлені у глинисто-алевролітовій товщі верхнього бадену. На сьогоднішній день в межах Крукеницької западини, включаючи її північно-східний схил виявлено більше 20-ти

газових та газоконденсатних родовищ, основні з яких за розмірами та по величині запасів – Залужанське, Садковицьке, Пинянське, Хідновицьке.

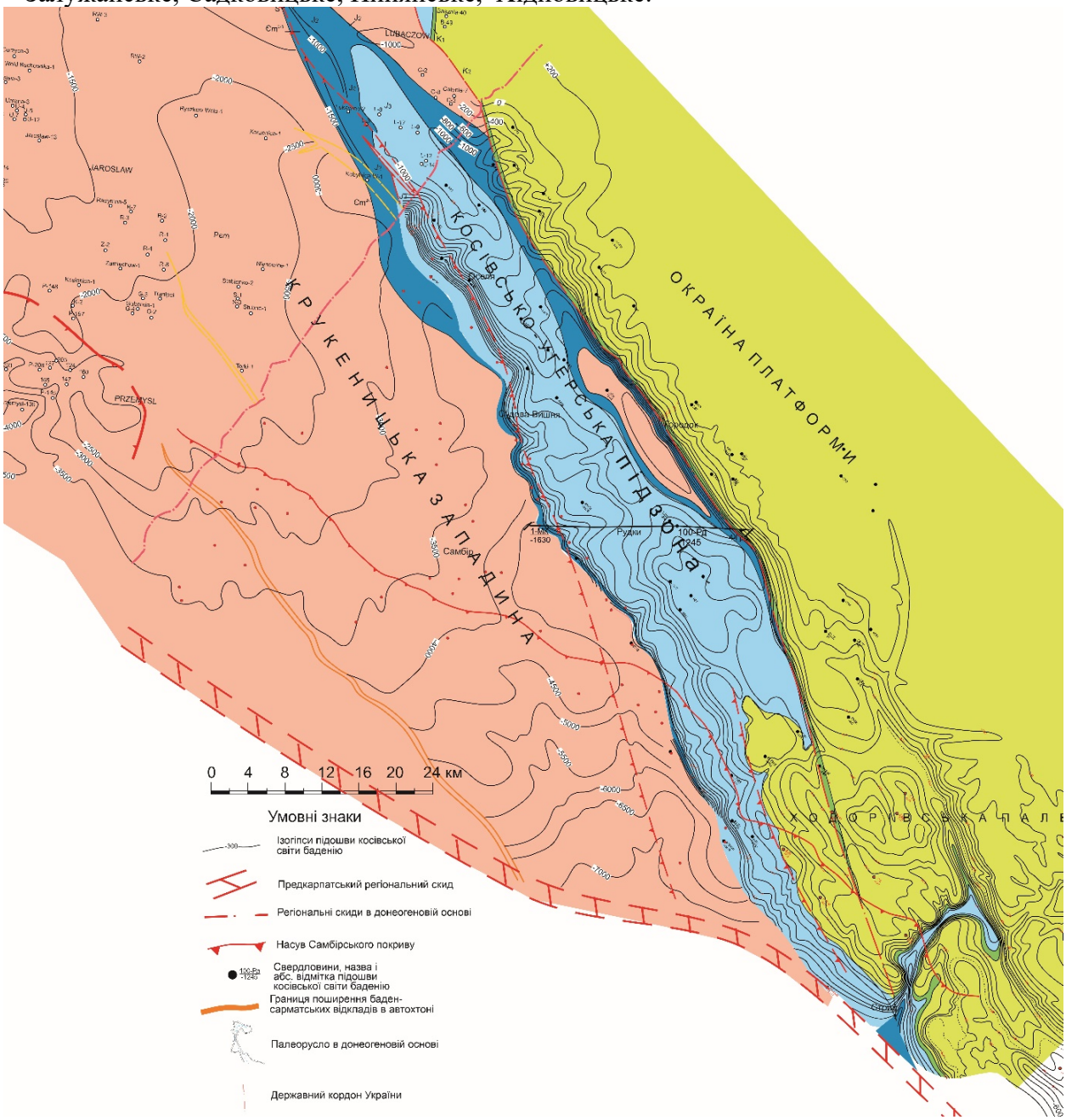


Рис. 1. Північно-західна частина Зовнішньої зони Передкарпатського прогину (фрагмент геологічної карти донеогенової основи). (Андрейчук М.М. 2013)

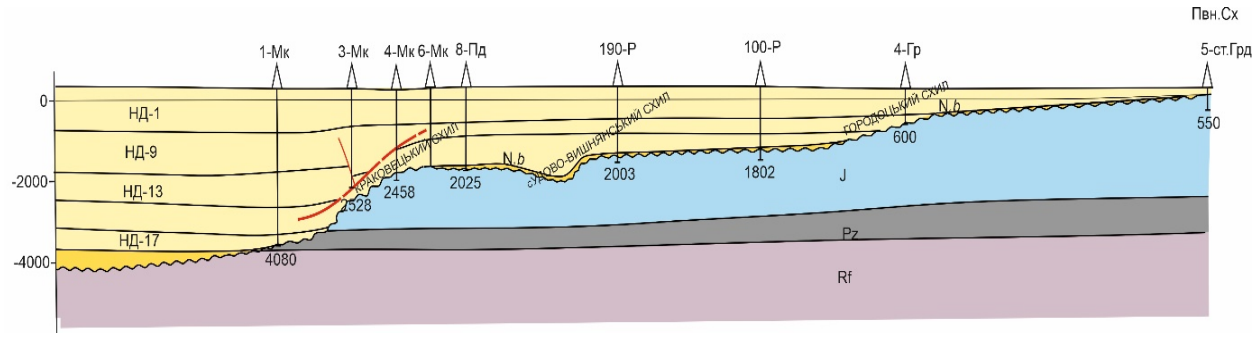


Рис. 2. Геологічний розріз через донеогенові ерозійні палеотераси Зовнішньої зони Передкарпатського прогину по лінії І-І (1 Мк – Макунів, 8 Пд – Підгайці, 190 Р – Рудки, 4 Гр – Городок, 5 ст. Гр – структурна городоцька)

Значну роль при утворенні вуглеводневих пасток зіграла літологічна неоднорідність нижньосарматського теригенного комплексу. Породи-колектори в цій частині Зовнішньої зони прогину не витримані по площі і розрізу. Тонкоритмічне перешарування теригенного матеріалу стало чинником поділу регіонально поширених продуктивних горизонтів на окремі пачки та пласти, гідродинамічно ізольовані між собою верствами флюїдоупорів. В переважній більшості випадків з ними пов'язані літологічно обмежені чи комбіновані поклади вуглеводнів. Як показує досвід проведення пошуково-розвідувальних робіт на вуглеводні, надійними флюїдоупорами можуть бути витримані в межах локальних структур глинисто-аргілітові верстви товщиною від двох метрів і більше.

Безпосередньо в межах опущеної частини Крукеницької западини основна частина вуглеводневих пасток пов'язана зі структурами огортання донеогенового ложа. Це значні за розмірами досить пологі структури огортання ерозійної поверхні, в межах яких загальні товщини продуктивних пачок витримані по площі, проте характеризуються значною літологічною мінливістю. В більшості випадків з ними пов'язані пластові літологічно обмежені поклади. Як правило, вони зосереджені на схилах палеопіднять. Яскравим прикладом цього можуть бути газові поклади нижньої частини сармату в межах Майницького газоконденсатного родовища.

На північно-східному схилі Крукеницької западини у верхній частині сарматського розрізу поклади газу пластові склепінні, пов'язані зі структурами нагнітання. В нижній – переважають комбіновані поклади (пластові літологічно обмежені, тектонічно екрановані повздовжніми гравігенними і антитетичними скидами та поперечними скидо-зсувами). В окремих випадках вони стратиграфічно екрануються поверхнею донеогенового розмиву. Пласти порід-колекторів вздовж схилу, як правило, характеризуються моноклінальним заляганням зі значними кутами падіння порід. (Рис.3)

Початкові пластові тиски до глибини 2000 м наближені до гідростатичних, нижче – аномально високі. Дебіти газу в більшості випадків не перевищують 50 тис. $м^3$/добу. Газ вуглеводневий, з глибиною зростає конденсатний фактор.

Особливості проведення пошуково-розвідувальних робіт та оцінки ресурсної бази. Через тонкоритмічне чергування порід-колекторів з пачками флюїдоупорів продуктивна частина розрізу поділена на цілий ряд гідродинамічно ізольованих пачок та пластів, для яких характерні свої пластові умови. Насамперед це поширення по площі, мінливість колекторських властивостей, характер насичення, склад флюїдів та термобаричні умови. В переважній більшості випадків вони об'єднються у спільні об'єкти випробовування та дослідження. Особливо це стосується пошуків та розвідки в умовах пластів та пачок порід зі спорідненим характером насичення за даними промислово-геофізичних досліджень, які як правило вибірково перфоруються в межах значних загальних товщин із поступовими дострілами. При цьому отримуються усереднені значення, що не несуть конкретну інформацію по кожному з пластів. Особливо це не припустимо в об'єктах з аномальними баричними умовами, де традиційними методами розподіл пластового тиску по продуктивному розрізу практично неможливий, так як значний вплив при формуванні пластових умов належить досить мінливим в часі та просторі геостатичним напругам, що особливо проявились в умовах насуву Самбірської зони на Крукеницьку западину.

Одним з проблемних питанн безпосередньо в межах Крукеницької западини є геометризація покладів при досить пологому заляганні пластів. Як правило вони обмежуються умовно, нижніми границями встановленої продуктивності (НГВП). Прикладом цього може бути Майницьке газоконденсатне родовище, де контакти газ-вода в межах піщаних тіл продуктивних горизонтів НД-10 – НД-15 за результатами промислово-геофізичних досліджень та випробовування свердловин не встановлені. Під час геолого-економічної оцінки вуглеводнів в переважній більшості родовищ продуктивні пачки та пласти, що представляють окремі газогідродинамічні системи об'єднюються в спільні об'єкти підрахунку, загальна товщина яких перевищує сотню метрів і більше, що у значній

мірі занижує точність оцінки підрахункових параметрів, особливо тих, що стосуються об’ємів покладів. В окремих випадках це складає враження існування вертикальних меж покладів, де основним фактором є літологічне заміщення порід-колекторів.

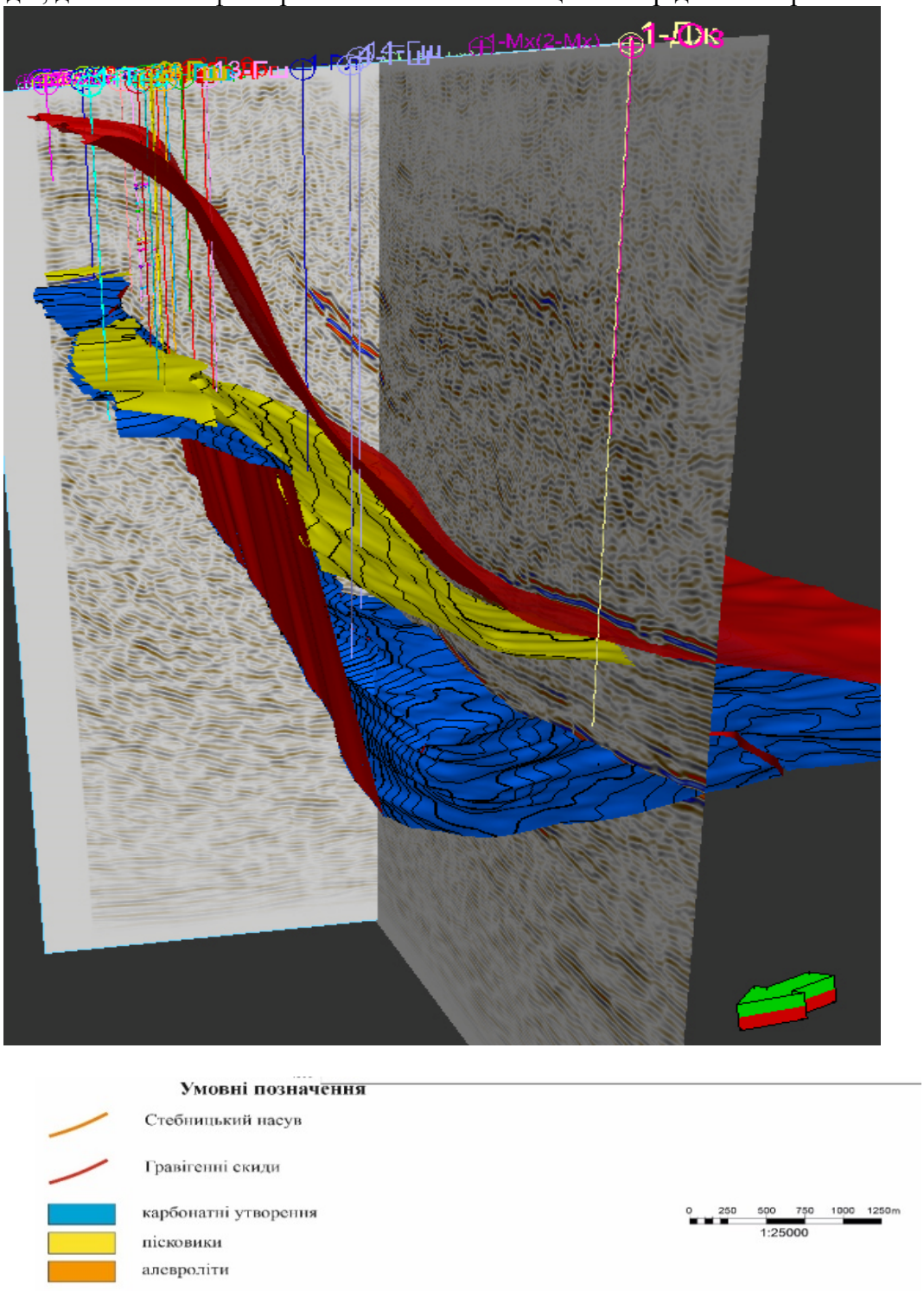


Рис. 3. Поперечний сейсмічно-геологічний профіль через Дрогобицьку структуру

Слід відмітити, що в умовах значної крутизни падіння порід, зокрема нижньої частини баден-сарматського теригенного комплексу північно-східного схилу Крукеницької западини поділ розрізу на окремі гідродинамічні системи більш виражений і доведений результатами пошуково-розвідувальних робіт [4]. Так, в межах Дрогобицького газового родовища, тільки в розрізі продуктивного горизонту НД-13 виділено 12 покладів газу, в той час як в аналогічних умовах Майницького родовища при геолого-економічній оцінці було

виділено тільки п’ять об’єктів підрахунку, а в продуктивному горизонті НД-13 – вісім проти двох.

Висновки

1. Встановлено, що на початку баденського часу відбулося швидке опускання розмитої поверхні донеогену. Обмежені в часі інтенсивні некомпенсовані низхідні рухи охопили всю територію Зовнішньої зони прогину, зумовивши швидку регіональну трансгресію баден-сарматського моря з нагромадженням потужної товщі верхніх молас. На початку верхнього бадену в межах Карпатської споруди активізувалися висхідні тектонічні рухи. Вона стала основним джерелом постачання теригенного матеріалу в баден-сарматський басейн седиментації. У міру віддалення від джерел зносу основну роль у його транспортуванні почали відігравати донні течії. Зазначимо, що перерозподіл осадів залежав від глибини та палеогеоморфологічних особливостей дна басейну седиментації. Останні тісно пов’язані з палеорельєфом розмитої поверхні донеогену. Виявлено ділянки з підвищеною піскуватістю теригенних горизонтів, які, як правило, приурочені до ерозійних схилів, одним із яких у такому випадку є складнопобудована північно-східна окраїна Крукеницької западини.

2. За результатами роботи встановлено, що кількість піщано-алевролітових горизонтів та їхні товщини у баденсько-сарматському розрізі значною мірою залежать від глибини басейну седиментації. У межах ділянки визначено, що товщина верхньобаденського теригенного комплексу зростає до 600–700 м, а нижньосарматського — до 4000 м. Для сарматського розрізу північно східного схилу Крукеницької западини виявлено притаманні пачки тонкоритмічного перешарування пісковиків, алевролітів та аргілітів, де окремі пачки та пласти порід-колекторів чи їх сукупність на фоні моноклінального занурення об’єднуються в продуктивні горизонти.

3. Виділені структурні особливості в середині баден-сарматського комплексу північно східного схилу Крукеницької западини тісно пов’язані з палеорельєфом поверхні донеогенового розмиву. Його значна крутизна сприяла гравітаційному сповзанню значної кількості осадів на початкових стадіях консолідації, що призвело до утворення безкореневих гравігенних скидів та антиклінальних структур нагнітання, часто ускладнених поперечними розривними порушеннями. Встановлено, що при відповідних співвідношеннях порід-колекторів і флюїдоупорів як перші, так і другі відігравали значну роль у формуванні складнопобудованих пасток для нагромадження вуглеводнів.

Список використаних джерел:

1. Михайловський І.З. Осадонагромадження та постседиментаційні перетворення міоценового комплексу порід Зовнішньої зони Передкарпатського прогину. Геологія та геохімія горючих корисних копалин №3–4 (199–200) 2025, 13–24. (**наукове фахове видання України**).

2. Михайловський І.З. Умови формування верхньомолассового комплексу в межах Крукеницької западини та на прилеглих ділянках Зовнішньої зони Передкарпатського прогину. Мінеральні ресурси України, 2025(3), с. 38–45. (**індексується в базі данних Scopus**).

3. Михайловський, І., & Андрейчук, М. (2025). Альтернативний погляд на умови формування донеогенового ложа Крукеницької западини. Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія», (62), 85-94. (**індексується в базі данних Scopus**).

4. Михайловський І.З., Андрейчук М.М. Перспективи нафтогазоносності північно східного схилу Крукеницької западини. Матеріали Десятої міжнародної науково-практичної конференції "Надрокористування в Україні.Перспективи інвестування". Україна, м. Львів, 6-10 жовтня 2025 р. С. 430-434.

References

Mykhaylovsky I. Z. Sedimentation and postsedimentation transformations of the Miocene Rock complex of the Outer zone of the Precarpathian trough. Geology and geochemistry of combustible minerals No. 3-4 (199-200) 2025, 13-24. (a scientific professional publication of Ukraine).

Mykhaylovsky I. Z. Conditions for the formation of the upper molasse complex within the Krukenytsia depression and in adjacent areas of the Outer zone of the Precarpathian trough. Mineral Resources of Ukraine, 2025(3), pp. 38-45. (indexed in the Scopus database).

Mykhaylovsky, I.Z., Andreychuk, M. (2025). An alternative view on the conditions of formation of the pre-Neogene basement of the Krukenytsia depression. Bulletin of the V. N. Karazin Kharkiv National University. Series "Geology. Geography. Ecology", (62), 85-94. (indexed in the Scopus database).

Mykhailovsky I.Z., Andreychuk M.M. Prospects for oil and gas potential of the northeastern slope of the Krukenytsia depression. Proceedings of the conference of the Tenth International Scientific and Practical Conference "Subsoil Use in Ukraine. Investment Prospects". Lviv, Ukraine, October 6-10, 2025. P. 430-434.

УДК 553.94:622.7:691

ПЕРСПЕКТИВИ РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ ВІДВАЛЬНИХ ПОРІД ДІЛЯНКИ НАДР «ЗАРІЧНА ТЕХНОГЕННА» ЯК ТЕХНОГЕННОЇ МІНЕРАЛЬНОЇ СИРОВИНИ

Книш І.Б.[1], *https://orcid.org/0000-0001-7962-5414, ivan.knysh@lnu.edu.ua;*
Михалюк М.В.[2], *https://orcid.org/0000-0001-7032-9619, Malva_2008@ukr.net,*
1 – Львівський національний університет імені Івана Франка, м. Львів, Україна,
2 – Львівська національна наукова бібліотека України імені В. Стефаника, м. Львів, Україна

Досліджено потенціал використання відвальних порід вугільних шахт як техногенних родовищ багатоцільової сировини. На прикладі ділянки надр «Зарічна Техногенна» (породний відвал шахти «Зарічна» у Шептицькому районі) наведено результати геолого-технологічних випробувань. Встановлено, що внутрішня будова та мінералогічна матриця відвалу, представлена аргілітами, алевролітами, пісковиками й вугіллям, забезпечують його високу промислову цінність. Доведено придатність порід для збагачення з метою отримання високозольного вторинного палива, виробництва будівельного щебню, піску, цегли та заповнювачів бетонів. Обґрунтовано ефективність застосування алюмосилікатної суміші як добавки у виробництві портландцементного клінкеру. Висвітлено геохімічний потенціал та перспективи гідрометалургійного вилучення рідкісних і рідкоземельних елементів, концентрація яких зростає внаслідок термічного метаморфізму. Промислова переробка відвалу сприятиме зменшенню екологічних ризиків, рекультивації земель та розвитку ресурсозберігаючої економіки в рамках післявоєнного відновлення України.

Ключові слова: відвальні породи, техногенне родовище, ділянка «Зарічна Техногенна», будівельні матеріали, вторинне паливо, рідкісноземельні елементи, ресурсозбереження.

PROSPECTS FOR RESOURCE SAVING AND UTILIZATION OF WASTE ROCKS FROM THE "ZARICHNA TECHNOHANNA" SUBSURFACE PLOT AS TECHNOGENIC MINERAL RAW MATERIALS

Knysh I.[1], *https://orcid.org/0000-0001-7962-5414, ivan.knysh@lnu.edu.ua;*
Myhaliyk M.[2]***,*** *https://orcid.org/0000-0001-7032-9619, Malva_2008@ukr.net,*
1 – Ivan Franko National University of Lviv, Lviv, Ukraine,
2 – Vasyl Stefanyk National Scientific Library of Ukraine, Lviv, Ukraine

The potential of utilizing coal mine waste rocks as technogenic deposits of multi-purpose raw materials has been investigated. Using the subsurface plot "Zarichna Technogenic" (the waste dump of the Zarichna mine in the Sheptytskyi district) as a case study, the results of geological and technological testing are presented. It was established that the internal structure and mineralogical matrix of the dump, represented by mudstones, siltstones, sandstones, and coal, ensure its high industrial value. The suitability of the rocks for beneficiation to obtain high-ash secondary fuel, as well as for the production of construction crushed stone, sand, bricks, and concrete aggregates, has been proven. The efficiency of using the aluminosilicate mixture as an additive in Portland cement clinker production is substantiated. The geochemical potential and prospects of hydrometallurgical extraction of rare and rare-earth elements, the concentration of which increases due to thermal metamorphism, are highlighted. Industrial processing of the waste dump will contribute to mitigating environmental risks, reclaiming land, and developing a resource-efficient economy as part of Ukraine's post-war recovery.

Keywords: waste rocks, technogenic deposit, Zarichna Technogenic plot, construction materials, secondary fuel, rare-earth elements, resource efficiency.

Вступ. Глобальні трансформації сучасної промислової інженерії вимагають якісно нового підходу до ресурсозбереження та поводження з промисловими відходами гірничодобувного комплексу. Багаторічна інтенсивна розробка вугільних родовищ Львівсько-Волинського кам’яновугільного басейну супроводжувалася масштабним вилученням гірничої маси на поверхню та накопиченням колосальних обсягів породних відвалів, які тривалий час розглядалися виключно як екологічно небезпечний баласт.

Сучасна геологічна та технологічна наука розглядає подібні накопичення шахтних порід як повноцінні техногенні родовища багатоцільової мінеральної та енергетичної сировини. Комплексна розробка цих об'єктів дає змогу одночасно розв'язати три фундаментальні задачі регіону: вилучити значні площі вилучених земель із техногенного обороту для подальшої рекультивації, забезпечити будівельний і дорожній сектори

дешевими та якісними вторинними матеріалами, а також вилучити супутні цінні компоненти, включаючи високозольне вторинне паливо та рідкісні й рідкоземельні елементи, що мають стратегічне значення для високотехнологічних галузей економіки.

Мінералогічний склад відвальних порід – це переважно алюмосилікатна маса (глини, аргіліти, алевроліти, пісковики), збагачена на різних стадіях вуглевидобутку домішками кварцу, польових шпатів, карбонатів, гідроксидів заліза та навіть залишкового вуглецю. Така різноманітна структура робить їх придатними для використання у багатьох галузях промисловості: будівельній, хімічній, металургійній, енергетичній. Сучасні дослідження доводять, що за технологічної підготовки відвали можуть бути не проблемою, а цінним ресурсом, що частково замінює природну сировину, зменшуючи навантаження на довкілля.

У світовій практиці вже накопичено чималий досвід використання техногенних відходів як вторинної сировини. У країнах Європейського Союзу, Китаї, США активно впроваджуються технології залучення промислових відходів у виробництво будівельних матеріалів, цементу, скла, кераміки, а також у сфері рекультивації земель.

Міжнародний досвід підтверджує ефективність такої практики. У Польщі та Чехії відвальні породи вже десятиліттями використовуються у будівельних матеріалах. У Німеччині з 1970-х років реалізовано програми рекультивації та промислового використання шахтних відвалів, значна частина яких перетворена на парки й культурно-рекреаційні зони [5]. Китай активно впроваджує технології вилучення з відвальних порід рідкісноземельних та кольорових металів, а також їх використання у цементній та скляній промисловості [7].

Для України цей досвід надзвичайно цінний. Використання порід відвалів як техногенного ресурсу може стати частиною стратегії післявоєнного відновлення, поєднуючи економічний розвиток із вирішенням екологічних проблем [1–3, 6]. Таким чином, використання порід відвалів вугільних шахт як техногенної сировини відкриває нові можливості для розвитку ресурсоефективної економіки, зменшення техногенного навантаження на природу та створення нових виробничих напрямів.

Виклад основного матеріалу. Об’єктом досліджень виступили вуглевмісні негорілі та термічно змінені вуглевмісні породи, які оцінювалися при попередній геолого-економічній оцінці ділянки надр «Зарічна Техногенна» [4]. Ділянка надр досліджується ТОВ «СПС», починаючи із 2025 року, керуючись спеціальним дозволом №5748 від 09.12.2024 р. на користування надрами, що виданий Державною службою геології та надр України, з метою геологічне вивчення, у тому числі дослідно-промислової розробки, корисних копалин з подальшим видобуванням корисних копалин (промислова розробка родовищ).

Метою дослідження є геолого-технологічне обґрунтування перспектив комплексного залучення відвальних порід ділянки надр «Зарічна Техногенна» (породного відвалу шахти «Зарічна») як техногенного родовища багатоцільової мінеральної сировини.

Фізико-географічно даний об’єкт розташований у Шептицькому районі Львівської області, за 1,2 кілометра на південний захід від селища Гірник. Ділянка надр “Зарічна Техногенна” - це колишній відвал вугільної шахти «Зарічна», розташований північніше колишньої промплощадки шахти, якою здійснювалась розробка покладів вугілля у складі середньої вугленосної світи намюрського ярусу нижнього відділу кам’яновугільної системи, сформованої алевроліт-аргілітовими відкладами з прошарками пісковиків, уламків вугілля, іноді – карбонатних порід. Таким чином, ділянка надр відноситься до техногенного мінерального об’єкту, сформованого шахтними породами вугледобувного виробництва. Формування породного відвалу розпочато одночасно із проходкою шахтового ствола в 1970-х. Запущений в експлуатацію разом із шахтою в 1970 році.. В плані породний відвал має округлу форму, витягнуту в північно – західному напрямку (абсолютні відмітки від 235,0 до 196,0м). Параметри відвалу – конічний (163 тис. м^2, 3,4 млн м^3), за даними ГЕО-2 на 2025 рік.

Породний відвал ділянки «Зарічна Техногенна» характеризується складною внутрішньою будовою, різними за щільністю, крупністю уламків які його складають, речовинним складом, вмістом корисних компонентів і технологічними властивостями накопиченої мінеральної сировини.. Ключовим фактором, який визначив сучасний внутрішній стан, літологічну цілісність та пожежну безпеку масиву, став обраний спосіб формування відвалу. З початку експлуатації шахти транспортування гірничої породи у відвал здійснювалося за допомогою канатних підвісно-маятникових доріг. Під час постійного розвантаження конусоподібна маса послідовно переформовувалася у плоский відвал. Такий технологічний прийом забезпечив належний рівень аерації та ефективну тепловіддачу масиву, що практично повністю запобігло виникненню в породах стійких осередків самозаймання. Завдяки відсутності суцільного неконтрольованого горіння в тілі відвалу збереглися як первинні негорілі різновиди порід, так і зонально, термічно змінені перегорілі фракції.

З геолого-промислової точки зору товща вуглевмісних відвальних порід ділянки «Зарічна Техногенна» належить до другої групи складності геологічної будови. За літологічним складом породний відвал віднесено до глинистого типу. Масив складається із суміші різнорозмірних уламків аргілітів, алевролітів, пісковиків, кам’яного вугілля та карбонатних порід. Аналіз мінералогічного та літологічного складу показує, що найбільше поширення у товщі мають аргіліти та алевроліти, які сукупно займають від 36,92 до 95,97 %а від загального об'єму породи. Вміст кам’яного вугілля варіюється у широких межах — від 1,1 до 27, 84 %. Частка пісковиків становить від 0,3 до 8,65 %. Вміст вільної кварцової складової сягає від 0,1 до 20,25 %. У гранулометричному відношенні відвальні породи представлені щебенево-жорств’яною сумішшю різнорозмірних уламків крупністю від часток міліметра до 40-80 міліметрів і більше. За загальною класифікацією це породи середньої крупності та дрібні. У масі виділяється великоуламкова та тонкодисперсна частини, причому вміст тонкодисперсного та глинистого наповнювача становить від 26 до 50 відсотків, а в окремих зонах досягає 60 %.

За макроскопічними та візуальними ознаками негорілі породи мають сірий, сіро-чорний та коричнево-чорний колір. За вмістом оксидів заліза породи варіюються від малозалізистих до залізистих. За вмістом органічного вуглецю вони відносяться до групи вуглецевих порід, а за вмістом загальної сірки — до малосірчаних та середньосірчаних. Лабораторні випробування зольності свідчать, що відвальні породи є дуже високозольними: показники коливаються від 36,41 до 98,03 %, при середньому значенні по ділянці на рівні 76,72 %.

Вуглевмісні відвальні породи ділянки надр «Зарічна Техногенна» оцінені при попередній ГЕО (ГЕО-2) як комплексна сировина і можуть використовуватись для вилучення вторинного палива, для отримання щебню та застосовуватися в енерго-технологічних процесах виробництва цегли, цементу та іншої будівельної продукції. Багатокомпонентність мінерального складу відкривають значні можливості для промислової сепарації та багатонапрямкового використання матеріалу. Насамперед негорілі вуглевмісні породи із високою часткою органічної маси слугують сировиною для механічного або гравітаційного збагачення. Шляхом попередньої сепарації з них можливо вилучити високозольне вторинне паливо у вигляді вугільного промпродукту, який може бути ефективно використаний у пиловугільних котлах теплових електростанцій та промислових опалювальних установках, мінімізуючи потреби у первинному вугіллі.

Результати випробувань підтверджують збагачувальність вуглевмісних відвальних порід на ділянці надр, та можливість використання їх в якості сировини для отримання високозольного вторинного палива у вигляді суміші вугілля кам’яного та вуглевмісних порід.

Другим за обсягами напрямком є використання термічно змінених порід у дорожньому будівництві та виробництві заповнювачів. Внаслідок випалювання в умовах обмеженого доступу кисню термічно змінені аргіліти та алевроліти набувають

властивостей штучного керамзитоподібного матеріалу з високою міцністю та стійкістю до атмосферного вивітрювання. Згідно з вимогами ДСТУ Б В.2.7-74-98 дана сировина класифікується за щільністю та походженням як щебінь середньо-пористий із горілих порід відходів вугільної промисловості. Цей щебінь є ідеальним матеріалом для влаштування конструктивних шарів дорожнього одягу, зведення залізничних насипів, підбудовних дамб та дренажних систем.

ТОВ «СПС» виконало оцінка якості відвальних порід у відповідності до вимог ДСТУ 9177-2:2022 Матеріали щебеневі та гравійні для дорожнього будівництва. Технічні умови, який поширюється на матеріали неукріплені (незв'язні), що використовують для влаштування шарів дорожнього одягу без використання в'яжучих. Щебінь за формою зерен пластинчастої і голчастої форми відноситься до звичайної групи. Фізико – механічні властивості щебню з перегорілих порід свідчать про їх придатність до використання для влаштування шарів дорожнього одягу основи автомобільних доріг V - V категорій. Отриманий щебінь за фракційним складом 20-40, 10-20, 5-10 мм відповідає щебню (гравію) заклинювальної фракції. Гранично допустимі рівні вмісту радіонуклідів у сировині, що використовується для виготовлення продукту не перевищують 370 Бк/кг відповідно до НРБУ. Посилаючись на досвід досліджень аналогічних об'єктів прогнозується, що термічно змінені та негорілі породи ділянки «Зарічна» будуть придатні для виробництва щебню для будівельних робіт. Дослідження проводитимуться під час дослідно-промислової розробки та ГЕО-1.

Враховуючи речовинний склад, характеристику та мінливість складу вуглевмісних порід, ще одним напрямком технологічних випробувань є дослідження вуглевмісних відвальних порід в якості добавок у виробництві в'яжучих матеріалів.Хімічний склад вуглевідходів сприяє їх залученню в технологічний процес виробництва цементу. При використанні вуглевмісних порід в технології цементу реалізується їх енергетичний потенціал і мінеральна складова, представлена переважно глиноземом та кремнеземом. Така техногенна сировина може використовуватись в технології цементу в якості мінеральних добавок.

Вуглевмісні відвальні породи із ділянки надр «Зарічна Техногенна» вивчаються в якості глинозем- і кремнеземвміщуючої добавки в сировинну суміш для отримання портландцементного клінкеру. Максимальний вміст алюмосилікатних вуглепорід в шихті може складати від 12 до 20 % (або 0,3-0,6 т на 1 т. клінкеру). Додавання вуглевмісних порід супроводжується одночасно зменшенням водоспоживання шихти і за рахунок спалювання паливних компонентів вуглевідходів зменшуються витрати палива і збільшується продуктивність цементних печей, що сприяє більш детальному вивченню енергетичних властивостей вуглевмісних порід родовища. Цемент, виготовлений на базі отриманого портландцементного клінкеру нормованого складу (КТ - 2), пройшов випробування згідно вимог ДСТУ Б В.2.7-46-2010 «Цементи загальнобудівельного призначення. Технічні умови», за результатами яких виготовлений портландцемент відповідає характеристикам марки 400.

Відсів подрібнення термічно змінених відвальних порід на щебінь (фракції 0-5 мм) випробовувалися у відповідності з вимогами ДСТУ Б В.2.7-29-95. За зерновим складом відсів класифікуються як пісок крупний. За вмістом пиловидних та глинистих часток класифікуються як піски групи з дуже високим вмістом. Глина в грудках відсутня. Відсів відноситься до групи сировини із дуже низьким вмістом органічних домішок

Наведені результати лабораторних досліджень відсіву від подрібнення перегорілих відвальних порід на щебінь, свідчать про відповідність якості відсіву вимогам ДСТУ Б В.-210:2010 «Пісок із відсівів дроблення виверженних гірських порід для будівельних робіт. Технічні умови» і ДСТУ Б В.2.7-29-95 "Будівельні матеріали. Дрібні заповнювачі природні, із відходів промисловості, штучні для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій та робіт. Класифікація" як: пісок-компонент в'яжучого для виробництва

щільних силікатних бетонів; пісок для виробництва силікатних цегли та каменю; пісок для благоустрою.

Пісок вихідний з дуже високим вмістом глини можна використовувати для благоустрою. Можливість використання твердих відходів видобутку вугілля для технічної рекультивації багато в чому залежить від їх літологічного складу. З врахуванням цього показника більшість вуглевідходів придатна для технічної рекультивації. Використання вуглевмісних відходів дозволяє скоротити витрати на роботи із рекультивації, оскільки виключається (зменшується) використання природного ґрунтового шару. Для активації органічної речовини вуглевмісних порід вони змішуються з добривами або (за необхідності) із спеціальними активаторами. За літературними даними, вуглевмісні породи перед змішуванням з іншими компонентами подрібнюють до крупності менше 3 мм.

Узагальнюючи нормативні випробовування, відвальні породи ділянки відповідають вимогам ДСТУ Б В.2.7-29-95, ОСТ 21-78-88, ДСТУ Б В.2.7-61:2008 та ДСТУ Б В.2.7-210:2010 для виробництва цегли, черепиці, тротуарних покриттів, бетонів та шляхового будівництва.

Поряд із будівельним та паливним напрямками, винятковий науковий та індустріальний інтерес становить геохімічний потенціал рідкісних, розсіяних та рідкоземельних елементів у породах відвалу шахти «Зарічна». Мінералогічна матриця тонкодисперсних аргілітів та алевролітів, що складають до 95% уламкової маси відвалу, формувалася в умовах інтенсивного сорбційного накопичення металів глинистими речовинами під час древнього осадонакопичення та діагенезу. Тонкодисперсна глиниста фракція виступала природним геохімічним бар'єром, що концентрував широку гаму рідкісноземельних елементів, включаючи лантаноїди, а також ітрій, скандій, ґалій, ґерманій, літій та ванадій.

Особливе геохімічне значення мають термічно змінені різновиди порід відвалу. У процесі природного або техногенного термічного метаморфізму відбувається вигорання органічної вуглецевої складової, що супроводжується значною втратою маси та об'єму вихідного матеріалу. При цьому рідкісні та рідкоземельні елементи, зв'язані із силікатною та алюмосилікатною матрицею, не випаровуються, а акумулюються у залишковому силікатному спеку чи золі. У результаті цього явища в термічно змінених аргілітах спостерігається природне збагачення та зростання концентрацій рідкісноземельних елементів у три-п'ять разів порівняно з первинними розсіяними вмістами у вугільних пластах.

Вилучення цих елементів з порід ділянки «Зарічна Техногенна» є технологічно досяжним завдяки сучасним методам гідрометалургії. Використання технологій селективного купчастого або агітаційного кислотного вилуговування розчинами м'яких мінеральних чи органічних кислот, а також методів бактеріального вилуговування дає змогу переводити до вісімдесяти відсотків лантаноїдів, скандію та ітрію в рідку фазу з наступною екстракцією та сорбційним виділенням товарних оксидів. Економічна привабливість вилучення РЗЕ з відвалу шахти «Зарічна» обумовлена тим, що гірнича маса вже вилучена на поверхню, подрібнена в ході видобутку та складування і розміщена у зоні з готовою транспортною інфраструктурою, що повністю виключає витрати на дороговартісний підземний або відкритий видобуток руди.

Наукова новизна дослідження полягає в обґрунтуванні комплексної ресурсної цінності техногенного масиву ділянки «Зарічна Техногенна», де завдяки специфіці формування відвалу було забезпечено належну аерацію та тепловіддачу, що запобігло суцільному самозайманню й зберегло як первинні негорілі, так і зонально термічно змінені різновиди порід. Вперше для даного об’єкта деталізовано та експериментально підтверджено багатоцільову технологічну придатність порід для отримання високозольного вторинного палива, виготовлення заклинювального щебню для дорожнього будівництва, застосування піску з відсіву подрібнення у виробництві бетонів і

цегли, а також використання алюмосилікатної суміші як енерго-мінеральної добавки у випалі портландцементного клінкеру.

Висновки. Екологічний та соціально-економічний ефект від реалізації комплексного проекту переробки відвалу «Зарічна Техногенна» має системний характер. Ліквідація або суттєве зменшення габаритів відвалу дасть змогу вилучити з-під техногенного навантаження значні площі родючих земель та повернути їх у господарський оборот. Повне опрацювання масиву ліквідує джерела пилоутворення, повністю усуне загрозу вилуговування токсичних сполук та важких металів у водоносні горизонти басейну річки Західний Буг, виключить ризики виникнення вторинних осередків горіння. Економічна вигода полягає у створенні нових робочих місць та отриманні високої доданої вартості від реалізації щебню, будівельного піску, високозольного вторинного палива та стратегічної рідкоземельної продукції.

У підсумку, ділянка «Зарічна Техногенна» являє собою високоперспективне майбутнє техногенне родовище багатоцільової сировини. Відвальні породи шахти «Зарічна» повністю відповідають усім чинним будівельним, технічним та радіаційно-гігієнічним нормативам і можуть без обмежень залучатися у виробництво дорожньо-будівельних матеріалів, цегли, заповнювачів бетонів та вторинного палива. Подальше поглиблене систематичне дослідження геохімічного складу аргілітів та алевролітів дасть змогу розробити високоефективні технологічні схеми вилучення рідкісних і рідкоземельних хімічних елементів, перетворюючи накопичені гірничі відходи на стратегічний мінерально-сировинний ресурс України.

Список використаних джерел:

1. Волощишин А. І., Попович В. В., Босак П. В. *Екологічний стан природно-технічних геосистем ліквідованих шахт Львівсько-Волинського вугільного басейну*. EcoLab. Т. 3 : монографія. Львів : ЛДУ БЖД, 2024. 214 с.
2. Іванов Є. А., Ковальчук І. П. Накопичення гірничопромислових відходів у Львівсько-Волинському кам’яновугільному басейні: сучасний стан, проблеми і перспективи поводження. *Український журнал природничих наук*. 2024. № 7. С. 75–84.
3. Книш І. Б. Перспективи використання відходів вугільної промисловості Львівщини як нової мінеральної сировини. *Вісник Львівського ун-ту. Серія геологічна*. 2006. № 20. С. 111–123.
4. *Попередня геолого-економічна оцінка кам’яного вугілля ділянки Зарічна техногенна (відвал шахти «Зарічна») у Шептицькому районі Львівської області*. Відпов. виконав.: Тимошенко Т. О. Київ : ФОП «Василенко Богдан Вікторович», 2026.
5. Kasztelewicz Z. Approaches to post-mining land reclamation in Polish open-cast lignite mining. *Civil and Environmental Engineering Reports*. 2014. Vol. 12, no. 1. P. 55–67.
6. Voloshchyshyn A. I., Bosak P. V., Popovych V. V., Menshykova O. V., Kopystynskyi Yu. O. Natural phytomelioration of coal mine waste heaps in the context of increased radiation background (on the case of Nadiya mine, Lviv-Volyn coal basin, Ukraine). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2024. Vol. 1415. Art. 012130. DOI: https://doi.org/10.1088/1755-1315/1415/1/012130
7. Wang J., Liu W., Yang R., Zhang L., Ma J. Assessment of the potential ecological risk of heavy metals in reclaimed soils at an opencast coal mine. *Disaster advances*. 2013. Vol. 6, no. 3. P. 366–377.

References

Ivanov, Ye. A., & Kovalchuk, I. P. (2024). Nakopychennya hirnychopromyslovykh vidkhodiv u Lvivsko-Volynskomu kamyanovuhilnomu baseyni: suchasnyy stan, mekhanizmy i perspektyvy povodzhennya [Accumulation of mining waste in the Lviv-Volyn coal basin: Current state, problems and management prospects]. *Ukrayinskyy zhurnal pryrodnychykh nauk [Ukrainian Journal of Natural Sciences]*, 7, 75–84. https://doi.org/10.32782/naturaljournal.7.2024.8 [in Ukrainian].

Kasztelewicz, Z. (2014). Approaches to post-mining land reclamation in Polish open-cast lignite mining. *Civil and Environmental Engineering Reports*, *12*(1), 55–67. DOI: 10.2478/ceer-2014-0006.

Knysh, I. (2006). Perspektyvy vykorystannya vidkhodiv vuhilnoyi promyslovosti Lvivshchyny yak novoyi mineralnoyi syrovyny [Prospects of using coal industry waste of Lviv region as a new mineral raw material]. *Visnyk Lvivskoho universytetu. Seriya heolohichna [Bulletin of Lviv University. Geological Series]*, 20, 111–122 [in Ukrainian].

Tymoshenko, T. O. (Resp. Exec.). (2026). *Poperednia heoloho-ekonomichna otsinka kamianoho vuhillia dilianky Zarichna tekhnohenna (vidval shakhty "Zarichna") u Sheptytskomu raioni Lvivskoi oblasti* [Preliminary geological and economic evaluation of hard coal in the Zarichna Technogenic site (spoil tip of the "Zarichna" mine) in Sheptytskyi District, Lviv Region] (Report). FOP "Vasylenko Bohdan Viktorovych"[in Ukrainian].

Voloshchyshyn, A. I., Bosak, P. V., Popovych, V. V., Menshykova, O. V., & Kopystynskyi, Yu. O. (2024). Natural phytomelioration of coal mine waste heaps in the context of increased radiation background (on the case of Nadiya mine, Lviv-Volyn coal basin, Ukraine). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *1415*, Article 012130. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1415/1/012130

Voloshyshyn, A. I., Popovych, V. V., & Bosak, P. V. (2024). *Ekolohichnyy stan pryrodno-tekhnichnykh heosystem likvidovanykh shakht Lvivsko-Volynskoho vuhilnoho baseynu* [Environmental state of natural-technical geosystems of liquidated mines of the Lviv-Volyn coal basin] (*EcoLab*, Vol. 3). Lviv State University of Life Safety. https://sci.ldubgd.edu.ua/jspui/handle/123456789/13986 [in Ukrainian].

Wang, J., Liu, W., Yang, R., Zhang, L., & Ma, J. (2013). Assessment of the potential ecological risk of heavy metals in reclaimed soils at an opencast coal mine. *Disaster Advances*, *6*(3), 366–377.

УДК 622. 822: 502.53

ДОСВІД ГЕОЛОГІЧНОГО ВИВЧЕННЯ, ВИДОБУВАННЯ, ЗБАГАЧЕННЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПРОМИСЛОВОЇ ЕКСПУАТАЦІЇ РОДОВИЩ І РУДОПРОЯВІВ КАЇНІТ-ЛАНГБЕЙНІТОВИХ КАЛІЙНО-МАГНІЄВИХ РУД У СВІТІ

***Петришин В.Ю.**, https://orcid.org/0009-0005-4380-5786, geology1982@ukr.net,*
Державна комісія України по запасах корисних копалин, Київ, Україна

У світовому масштабі каїніт-лангбейнітовий тип руд поширений значно обмеженіше, ніж сильвінітові та карналітові руди, зважаючи на їх розвідані запаси. Рудопрояви та родовища пов'язані з каїніт-лангбейнітовим типом калійно-магнієвих руд розташовані в Передкарпатському прогині із класичними каїніт-лангбейнітовими рудами міоценових родовищ України, Польщі та Румунії; Цехштейнському басейні верхньопермських родовищ у центрі та на півночі Німеччини, Польщі та інших країнах регіонів Північного та Балтійського морів; Сицилійському басейні пізньоміоценового віку на півдні Італії на острові Сицилія, зі значними розвіданими запасами каїніту; Карлсбадському басейні (басейн Делавер) верхньопермських родовищ на півдні США у штатах Нью-Мексико і Техас, зі значними запасами лангбейніту; Солеродному басейні у западині Данакіль четвертинного віку в Ефіопії, в межах Східно-Африканського рифту, де за останнй 1 млн років накопичено понад 3 млрд тонн запасів майже мономінерального каїніту. У межах Передкарпатського прогину, розвідано понад 20 родовищ калійних солей, з яких найбільші Стебницьке та група Калуш-Голинських родовищ, тривалий час розроблялись. Приведені дослідження дозволяють стверджувати, що за особливостями мінерального складу, проблемами видобування та збагачення, полімінеральні калійні солі сульфатного типу та каїніт-лангбейнітового складу, суттєво відрізняються від найбільш поширених у світі калійних солей хлоридного типу та сильвінового складу. Насамперед калійні солі родовищ Передкарпаття, харакеризуються значно нижчими вмістами корисного компоненту (9-11 % K_2O), дуже високими вмістами нерозчинного залишку (11-20 %), а також значними вмістами хлористого натрію (біля 30 %). Потенційним надрокористувачам, потрібно врахувати досвід збагачення калійних солей у світі, насамперед в Німеччині, Італії та США, а також в Україні на Стебницькому та групі Калуш-Голинських родовищ, щоб запобігти неефективному збагаченню маючи розроблену та апробовану ефективну технологію, надмірному утворенню відходів, переповнення хвостосховищ та виникнення аварійних ситуацій.

Ключові слова: родовища калійно-магінієвих солей світу, каїніт-лангбейнітові руди мінеральний склад руд, запаси, видобування, збагачення, геолого-економічна оцінка.

GLOBAL EXPERIENCE IN GEOLOGICAL EXPLORATION, EXTRACTION, PROCESSING AND PROSPECTS FOR COMMERCIAL DEVELOPMENT OF KAINITE-LANGBEINITE POTASSIUM-MAGNESIUM DEPOSITS AND ORE OCCURRENCES

***Petryshyn V.,** https://orcid.org/0009-0005-4380-5786, geology1982@ukr.net,*
State Commission of Ukraine on Mineral Resources, Kyiv, Ukraine

On a global scale, kainite-langbeinite ores are considerably less widespread than sylvinite and carnallite ores, based on explored reserves. Occurrences and deposits of the kainite-langbeinite-type potassium-magnesium ores are found in the Pre-Carpathian Foredeep, Poland, and Romania; the Zechstein Basin in Germany, Poland, and other countries in the North Sea and Baltic Sea regions; the Sicilian Basin in southern Italy; the Carlsbad Basin (Delaware Basin) in the southern United States in New Mexico and Texas; and the Danakil salt-bearing Basin in Ethiopia, within the East African Rift. More than 20 potassium salt deposits have been explored within the Pre-Carpathian Foredeep. The Stebnytske deposit and the Kalush-Holynske group of deposits are the largest and have long been developed. Existing studies indicate that polymineral sulphate-type potassium salts and those of kainite-langbeinite composition differ significantly from the widespread chloride-type potassium salts and those of sylvite composition in their mineral composition, extraction, and processing challenges. Potassium salts of the Pre-Carpathian deposits are characterised by much lower contents of useful components (9–11 % K_2O), very high contents of insoluble residue (11–20 %), and significant contents of sodium chloride (around 30 %). Potential subsoil users should consider the global experience in potassium salt processing, particularly in Germany, Italy, and the USA, as well as in Ukraine at the Stebnytske and Kalush-Holynske group of deposits, to avoid inefficient processing, excessive waste generation, tailings pond overflows, and emergencies, given that effective technology has already been developed and tested.

Keywords: global deposits of potassium-magnesium salts, kainite-langbeinite ores, mineral composition of ores, reserves, extraction, processing, geological and economic assessment.

Вступ. Природні калійно-магнієві солі є важливими корисними копалинами осадового походження для розвитку хімічної промисловості, виробництва мінеральних добрив для потреб забезпечення сільського господарства. Мінеральний склад цих родовищ генетично пов’язаний з умовами евапоритового процесу, а мінеральні парагенетичні асоціації, форми залягання рудних тіл, залежать від геологічних та геотектонічних умов родовищ.

Для калієносних соляних формацій притаманний тісний парагенетичний і просторовий зв'язок (фаціальні переходи, чергування, перешаровування) з теригенними відкладами, що утворилися в таких же близьких або інших фаціальних умовах (замкнутих, морських лагун). Калійно-магнієві солі утворюються на прикінцевих стадіях аридного осолонення лагун, після випадання в осад сульфатів кальцію (гіпсу, ангідриту) та галіту, коли починається осадження легкорозчинних хлоридів і сульфатів калію, магнію і натрію.

За часом утворення соленосні формації поділяються на дві групи: 1. сучасні родовища, що утворилися в четвертинному періоді, 2. соленосні формації і соляні родовища, що утворилися від раннього кембрію до неогену.

Кристалізація всіх солей при різних температурах відбувається разом з галітом. Хлористий натрій міститься в морській воді у великому надлишку і тому завжди насичення розчину настає насамперед NaCl, який раніше всіх інших солей виділяється у тверду фазу. При подальшому випаровуванні кожна нова сіль кристалізується разом з хлористим натрієм.

Дослідження процесів кристалізації солей, що відбуваються в природних соляних водоймах, дозволили встановити новий тип хімічних рівноваг у системі морської води, який виникає при її природному, так званому "сонячному" випаровуванні.

"Сонячна" діаграма виявилася простішою. У ній відсутні поля астраханіту, леоніту та каїніту, які перекриваються полями сульфатів магнію, хлористого калію та частково карналіту. Відсутні також поля кізериту, п'яти та чотириводних гідратів сірчанокислого магнію, які замінюються полем гексагідриту. Відповідно до цього за "сонячною" діаграмою солі при випаровуванні морської води випадають у такій послідовності: гіпс, галіт, епсоміт, гексагідрит, карналіт і бішофіт. Не встановлюється кристалізація сильвіна, який відсутній на діаграмах стабільних хімічних рівноваг при температурах більше 25°, що довгий час змушувало дослідників розглядати сильвін як вторинний мінерал, що виникає за рахунок карналіту при впливі на нього вологи або за рахунок розкладання каїніту.

Каїніт-лангбейнітові калійно-магнієві руди формують досить специфічний тип калійно-магнієвих родовищ, їх економічне значення у світі значно менше, ніж сильвінітових та карналітових покладів, але тим не менше у ряді регіонів вони тривалий час розроблялись, а їхні запаси відіграють важливу роль у мінерально-сировинній базі низки країн, у тому числі і України.

Каїніт-лангбейнітові поклади у евапоритових формаціях характеризуються специфічним сульфатним калійно-магнієвим складом, у яких основними калійними мінералами є каїніт $MgSO_4 \cdot KCl \cdot 3H_2O$ та лангбейніт $K_2Mg_2(SO_4)_3$, що сформувались у басейнах соленакопичення на пізніх стадіях випаровування морської води та під час подальшої діагенетично-метаморфічної перекристалізації солей.

У світі каїніт-лангбейнітовий тип руд поширений значно обмеженіше, ніж сильвінітові та карналітові руди, зважаючи на їх розвідані запаси. Його прояви та родовища пов'язані з такими регіонами як:

1. Передкарпатський прогин із класичними каїніт-лангбейнітовими рудами міоценових родовищ України, Польщі та Румунії (рис. 1);

2. Цехштейнський басейн верхньопермських родовищ у центрі та на Півночі Німеччини, Польщі та інших країн регіонів Північного та Балтійського морів (рис. 2);

3. Сицилійський басейн пізньоміоценового віку на півдні Італії на острові Сицилія, зі значними розвіданими запасами каїніту (рис. 3);

4. Карлсбадський басейн (басейн Делавер) верхньопермських родовищ на півдні США у штатах Нью-Мексико і Техас, зі значними запасами лангбейніту (рис. 4);

5. Солеродний басейн у западині Данакіль четвертинного віку в Ефіопії, в межах Східно-Африканського рифту, де за останній 1 млн років накопичено понад 3 млрд тонн розвіданих запасів майже мономінерального каїніту (рис. 5).

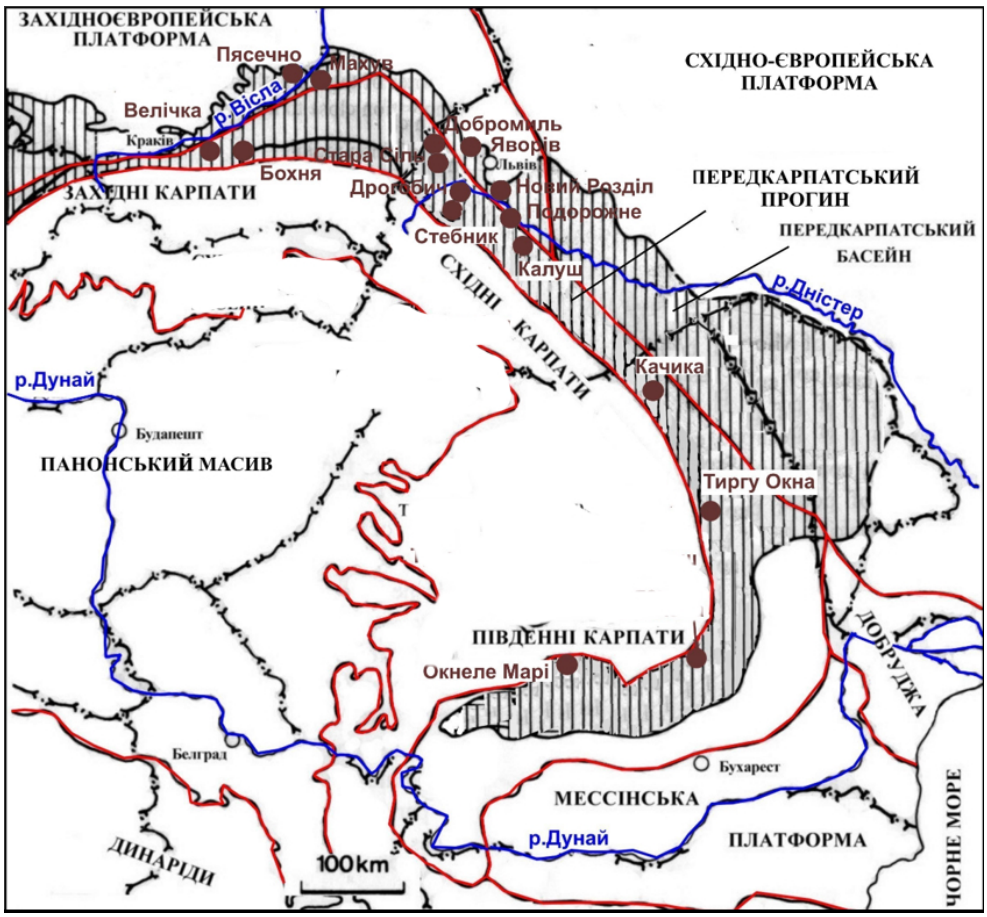


Рис.1. Межі поширення міоценових евапоритових відкладів Передкарпатського прогину



Рис. 2. Межі поширення верхньопермських евапоритових відкладів Цехштейнського басейну

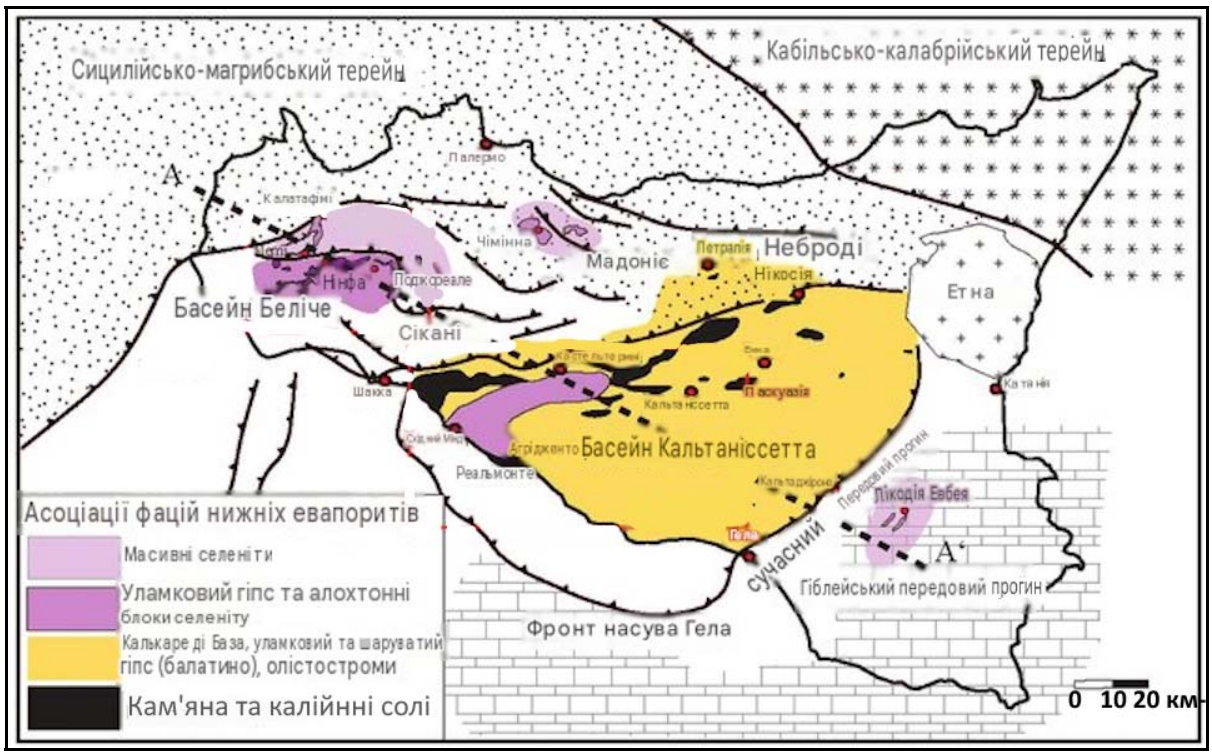


Рис. 3. Межі Сицилійського евапоритового басейну міоценового віку зі значними запасами каїніту на півдні Італії у південно-західній та центральних частинах острова Сицилія

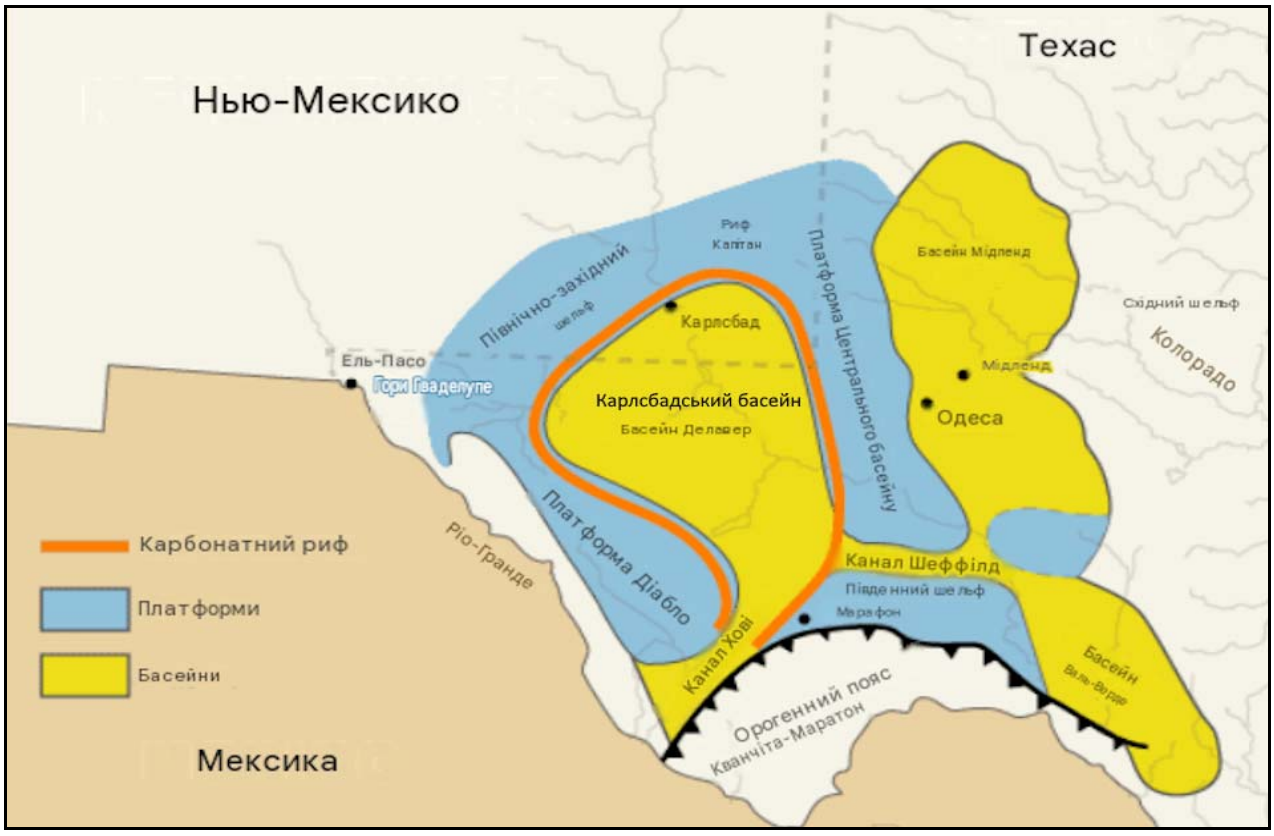


Рис. 4. Межі Карслбадського басейну (басейну Делавер) верхньопермського віку на півдні штату Нью-Мексико та на північному заході штату Техас у США



Рис. 5. Межі западини Данакль четвертинного віку на півночі Ефіопії

Крім цих солерудних басейнів каїніт-лангбейнітові поклади локально поширені серед галогенних формацій в межах Прип'ятського прогину та Дніпрово-Донецької западини, у ряді солянокупольних структур Прикаспійської синеклізи в межах Казахстану та інших країн.

Каїніт-лангбейнітові калійно-магнієві руди входять до складу змішаних калійно-магнієвих сульфатних солей в парагенезі з галітом, сильвіном, полігалітом, карналітом, шенітом, епсомітом, кізеритом і ангідритом, рідше з гіпсом, астраханітом, левеїтом і леонітом в межах розвіданих родовищ у міоценових відкладах Передкарпатського прогину. Для них притаманні тонкошарувата текстура і різнозерниста, переважно дрібно-зерниста, часто орієнтована структури. Шарувата текстура обумовлена чергуванням прошарків з різним кількісним співвідношенням каїніту, галіту та теригенних мінералів. Для зон тектонічних порушень притаманна брекчована текстура, обумовлена наявністю уламків алевролітів та пісковиків, скупчень та агрегатів полігаліту.

Генезис каїніт-лангбейнітових руд:

1. Первинне евапоритове: у послідовності випарної кристалізації морської води каїніт є пізньостадійним сульфатно-хлоридним мінералом калію та магнію та не кристалізується безпосередньо зі звичайної морської води, а з'являється після значного згущення та після осадження галіту: кальцит/арагоніт → гіпс/ангідрит → галіт → сульфати та хлориди Mg–K: карналіт + сильвіт + каїніт + кізерит/інші солі Mg–K. Тільки частина каїніту утворилася шляхом осадження із пересиченої ропи після кристалізації галіту, сильвіну, карналіту, кізериту, разом із лангбейнітом та полігалітом. Осадження первинного каїніту є показником посиленого випаровування морської води, її посиленого концентрування у замкненній лагуні, а його положення відносно карналіту та сильвіту не є стабільним, універсально фіксованим показником евапоритового процесу та значною

мірою залежить від температури, складу ропи, співвідношень Mg/K/SO_4/Cl та інших параметрів.

2. Вторинне діагенетичне: згідно поглядів М. Г. Валяшко (1962) більша частина каїніту утворена в процесі діагенезу з раніше відкладених сільвіну і гексагідриту (шестиводного сульфату магнію). Для природних калійних родовищ каїніт лангбейнітових руд це особливо важливо, оскільки каїніт може бути первинним мінералом евапоритів або може утворюватися вторинно в результаті реакцій на стадії діагенезу, що включають карналіт, кізерит, сильвіт та розсоли, багаті на сульфати. Деякі дослідники розглядають каїніт як винятково вторинний мінерал, що утворився за рахунок лангбейніту, карналліту, сильвіну і кізериту (Курнаков, Миколаїв, 1932; Шлезінгер та ін, 1940). Згідно даних С.В. Ходькової (1965) каїніт Стебникського родовища, є виключно вторинним мінералом, що утворився в процесі перетворення первинних соляних мінералів.

3. Вторинна перекристалізація, метасоматичне заміщення та звітрювання тріщинуватих соляних порід. За даними більшості дослідників, в родовищах Передкарпатського прогину вторинний каїніт має підлегле поширення і зустрічається у вигляді прожилків, потужністю кілька сантиметрів, що виповнюють тріщини у соляних мінералах та соленосних глинах. Крім того, серед прошарків сильвіну, що містить домішки кізериту, лангбейніту і полігаліту, спостерігаються зерна вторинного каїніту, що розвивається по сильвіну або оконтурює скупчення кізериту, а серед галіту зустрічаються новоутворені кристали каїніту. Вторинний каїніт є одним із характерних мінералів "соляної шляпи", розвиненого на калійних покладах родовищ "цехштейну". Він утворюється за рахунок карналіту та кізериту. У районі Стассфурта "соляна шляпа" складена головним чином каїнітовою породою, що містить 65 % каїніту та 35 % кам'яної солі. Аналогічного складу "соляна шляпа" знаходиться на калійному покладі в Нижньо-Рейнському районі. Структура каїнітовмісної породи різнозерниста, текстура – масивна (Fulda, 1935).

Первинний лангбейніт на відміну від каїніту кристалізується із значно більш концентрованих калійно-магнієвих сульфатних розчинів із незначним вмістом хлоридів на пізній стадії евапоритового процесу. Для кристалізації лангбейніту необхідні висока концентрація іонів калію та натрію, значна концентрація сульфат-іонів, відносно обмежена кількість хлоридів у порівнянні із сульфатами, дуже висока ступінь випаровування. Тобто для переходу до лангбейнітової асоціації, залишковий розчин має зазнавати сульфатизації (зростання вмісту сульфатів) та дегідратації.

Крім первинного лангбейніту, що кристалізувався із залишкової ропи, доведене утворення лангбейніту у постседиментаційних процесах при дегідратації та дехлоридизації каїніту за умови підвищення температури: каїніт → лангбейніт + хлоридна фаза + H_2O.

Виходячи з цього, можна стверджувати, що каїніт і лангбейніт асоціюють тому, що вони є мінералами однієї калійно-магнієво-сульфатної системи, але стабільними за різного співвідношення Cl/H_2O та різних температурно-водних умов. Саме тому їхнє співвідношення може бути дуже корисним геологічним індикатором еволюції калійної руди – від первинної евапоритової седиментації до діагенетичної та тектонічно-зумовленої перекристалізації.

Лангбейніто-каїнітові калійні поклади широко поширені в калійних родовищах Передкарпаття, де вони перешаровується з каїнітовими та лангбейнітовими прошарками. Лангбейніт часто зустрічається у вигляді великих ідіоморфних кристалів із зональною будовою. Текстура лангбейніто-каїнітової породи найчастіше плямиста, іноді неясношарувата.

На відміну від найбільших у світі родовищ калійних руд із переважно сільвінітовим мінеральним складом (Канада, Білорусь), для Передкарпатського прогину в Україні та Румунії притаманні родовища із переважанням таких мінералів як каїніт, лангбейніт, полігаліт та інші, які отримали назву полімінеральних калійних руд.

У межах Передкарпатського прогину, що простягається по території України смугою довжиною 230 км і шириною 25-60 км від Польщі до Румунії, розвідано понад 20 родовищ калійних солей, з яких найбільшими є Стебницьке та Калуш-Голинське (група Калуш-Голинських родовищ: Сивка-Калуське, Домбровське, Пійло, Голинське) (рис. 6.).

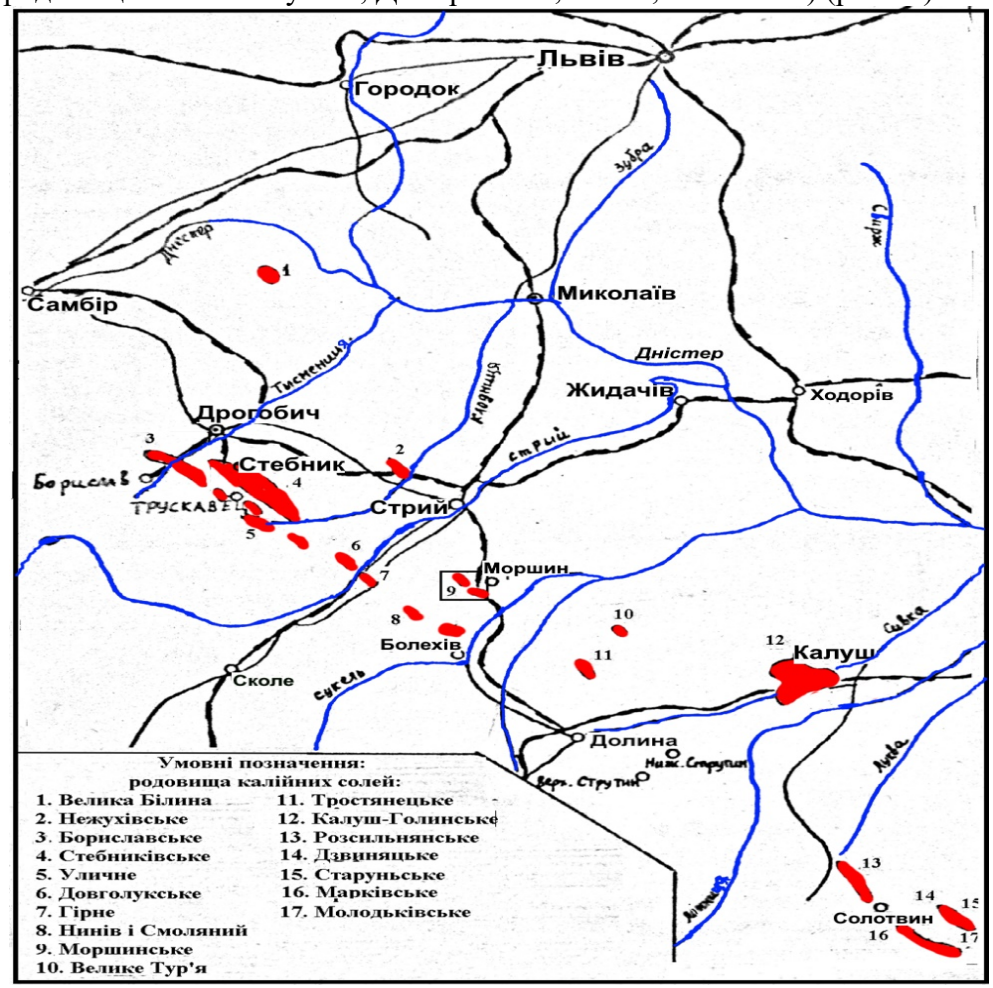


Рис. 6. Просторова локалізація родовищ калійних солей, розвіданих в межах Передкарпатського прогину

Особливості мінерального складу родовищ калійних солей Передкарпатського прогину. Калійні руди родовищ Передкарпаття характеризуються багатоманітністю і непостійністю мінерального складу, до якого входить понад 20 хлоридних, сульфатних і хлоридно-сульфатних мінералів.

За хімічним складом поклади калійних руд Передкараптського прогину відносяться до солей сульфатного типу. Вони характеризуються дуже складним і своєрідним комплексом соляних мінералів і винятково великим вмістом глинистого матеріалу (10-15%, іноді до 25 %). Головними породами калійних солей є каїнітова, лангбейнітова, каїніт-лангбейнітова і полімінеральна.

Важливу роль в складі калійних порід відіграє глинистий і алеврито-піщаний теригенний матеріал, який також треба відносити до основних породотворних компонентів

і який часто описується під загальним терміном "нерозчинний залишок". З мінералогічної точки зору, в "нерозчинному залишку" домінують кварц, хлорит та гідрослюда, з підпорядкованим значенням польового шпату, кальциту і доломіту.

Відмінною рисою руд Прикарпаття, порівняно з аналогічними закордонними родовищами (Румунія), є строкатість мінералогічного складу (навіть у межах однієї ділянки видобутку) і надзвичайно високий вміст глинисто-мулисто-піскової фракції, тобто нерозчиненого залишку, що досягає 20 % і вище.

Ці мінерали формують найбільш поширені і каїніто-лангбейнітові руди, вміст каїніту у яких змінюється від 12 до 25 %, лангбейніту від 10 до 20 %, галіту – від 30 до 40 %, нерозчинного залишку (глинисто-мулисто-піщаного компоненту) від 10 до 30 %, а також лангбейніт-каїнітові (при переважанні каїніту), рідше каїнітові та переважно лангбейнітові руди, а також, значно рідше каїніт-кізеритові, сильвінітові руди [1]. Крім Калуш-Голинського та Стебницького родовищ, добре розвіданими і перспективними для видобутку
є Бориславське (каїніто-лангбейнітова руда), Марково-Розсильнянське (лангбейніто-каїнітова руда), Нежуховське (каїніто-кізерітова руда) і Тростянецьке (лангбейнітова руда).

Проблеми видобування та збагачення родовищ калійно-магнієвих, каїніт-лангбейнітових руд у світі

Німеччина. Країна має одну з найрозвиненіших у світі технологічних шкіл видобування та переробки калійних руд. Основу сучасної калійної промисловості становлять родовища Цехштейнового евапоритового басейну, насамперед у Тюрингії, Гессені та Саксонії-Ангальт. У Цехштейновому басейні, поряд із сильвіновими рудами, значний відсоток складають полімінеральні руди, у яких поряд із галітом і сильвіном присутні магнієві сульфати, такі як каїніт, кізерит, лангбейніт, шеніт та ін.

Особливість такої сировини полягає у складнішій технології збагачення: з сирої солі окремо вилучають магнійсульфатну складову (кізерит) та калієвмісні компоненти, а потім переробляють їх у широкий спектр калійно-магнієвих і сульфатних добрив, застосовують технології сухого збагачення та селективної флотації з метою мінімізації об’ємів відходів.

Італія. Країна є дуже показовим прикладом промислового видобування та збагачення калійно-магнієвих солей, особливо каїнітових руд. Найважливіший для цього досвіду об'єкт є рудник Паскуазія (Pasquasia) у провінції Енна, а також родовище Реальмонте (Realmonte), де компанія Italkali працювала з каїнітовими рудами.

Технологічний ланцюг передбачає підземний видобуток, подрібнення, флотаційне збагачення каїніту, гідротермічна/розчинна переробка концентрату із отриманням сульфату калію. Саме поєднання флотації та подальшої хімічної переробки каїніту є найбільш ефективним. Розробка Паскуазії розпочалася ще в 1959 р. За первинною схемою видобували сильвініт та карналіт, але після встановлення значних запасів каїніту технологію було переорієнтовано на його видобування та переробку.

Особливо важливо, що каїнітові пласти мали значну потужність. За описом технології рудника, було встановлено п'ять каїнітових пластів промислової потужності та витриманості, причому один із найбільш цікавих у промисловому відношенні пластів мав потужність близько 30–35 м. Видобування та переробка калійних солей були припинені 27 липня 1992 р. у зв’язку з екологічною проблемою забруднення річки.

США. Калійні руди Карлсбадського басейн (Carlsbad Potash District) на південному сході штату Нью-Мексико, США розроблялись протягом десятиліть методом підземної камерно-стовпової виїмки, селективного збагачення сильвінітових і лангбейнітових руд, а нині також свердловинним вилуговуванням та переробкою ропи. Основними калійними мінералами є сильвін, лангбейніт, карналіт, полігаліт, каїніт та леоніт.

Карлсбадський басейн особливо цікавий тим, що тут промислово розробляли два різних типи калійної сировини: сильвінові та лангбейнітові. Для лангбейнітових руд технологічна схема полягала у видобуванні, дробленні, грохоченні, мокрому подрібненні, знешламленні, флотації, згущенні/сушінні та грануляції. Технологічний процес передбачав подрібнення в насиченому розсолі, що дозволяє значною мірою запобігти розчиненню калійних солей під час збагачення.

Для високоглинистих руд дослідження показали, що звичайна флотація працює незадовільно при вмісті глинистих шламів близько 3–5 %. Саме тому застосовується двоступенева м'яка відтирка, що дозволяє краще диспергувати й видаляти глини. У дослідах отримували концентрати приблизно 58,8–60,4 % K_2O, а вилучення K_2O у напівпромислових випробуваннях становило 69,7–81,4 %.

У Карлсбаді лангбейнітові руди використовують не просто для отримання KCl, а для виробництва калійно-магнієвих добрив.

Україна. Досвід видобування калійних солей із Стебницького та Калуш-Голинської групи родовищ Передкарпатського прогину, вказує на те, що потенційні надрокористувачі повинні належним чином оцінити ризики появи та зростання водопритоків, а також катастрофічного розвитку соляного карсту, які можуть призвести до припинення надрокористування та створення низки екологічних проблем. Саме тому, будь-які, навіть найменші водопритоки маю бути належним чином вивчені та вчасно ліквідовані різними способами у тому числі побудовою гідроізоляціних перемичок.

За розчинністю у воді усі мінерали полімінеральних руд родовищ Передкарпатського прогину можна розбити на 3 групи:

1. Легкорозчинні (сильвін, каїніт, епсоміт, шеніт, леоніт, карналіт, астраханіт, глазерит, бішофіт, галіт);

2. Важкорозчинні (лангбейніт, кізерит);

3. Практично нерозчинні (полігаліт, ангідрит, сингеніт, гіпс).

Головними специфічними особливостями полімінеральних калійних руд Стебницького, Калуш-Голинського та інших родовищ Передкарпатського прогину є:

1. Неоднорідність мінерального складу;

2. Домінування переважно каїніт-лангбенітового мінерального складу;

3. Порівняно невисокий вміст у полімінеральних рудах калію (9-11 % у перерахунку на K_2O);

4. Обмежена (погана) розчинність одного з головних калієвмісних мінералів (лангбейніту);

5. Досить значний вміст глинисто-мулисто-піскової фракції

Дані особливості суттєво ускладнюють технологію збагачення полімінеральних калійних руд Стебницького, Калуш-Голинського та інших родовищ Передкарпатського прогину.

Мінеральна сировина, видобута з одного родовища, може бути досить неоднорідною і відрізнятися між собою за вмістом каїніту від 23 до 41 %, лангбейніту від 0 до 14 %, нерозчинного залишку від 12 до 20 %, а це змінює швидкість розчинення, насиченість, густину та інші властивості розчину, що суттєво впливає на процеси збагачення та його ефективність.

Глибоке збагачення та перероблення таких руд згідно зі стандартними флотаційними та галургійними технологіями передбачає їх подрібнення, розчинення у воді, флотаційну сепарацію від галітових відходів разом із лангбейнітовим концентратом, осадження та виведення із технологічного процесу глинисто-мулисто-піщаного матеріалу, кристалізацію калімагнезії та низку інших операцій.

Для Стебницького родовища в якості основного був обраний флотаційний метод збагачення, а для Калуш-Голинського родовища головно флотаційно-галургійний спосіб збагачення та переробки полімінеральних калійних руд.

В обидвох випадках технології полягали у розчиненні калійних соляних порід гарячою водою, додаванні флотореагентів, осадженні нерозчинного залишку і відокремленні від галіто-лангбейнітового осаду висвітленої висококонцентрованої ропи та кристалізації з неї калі-магнезії, а також намаганнями поглибленого перероблення галургійними технологіями на хімічній збагачувальній фабриці у Калуші. Проте полімінеральний склад калійних руд і високий вміст у них глинистого матеріалу (10-15 %, іноді до 20% і більше) значно ускладнювали застосовані технології їх переробки. Практично ці технології виявилася дуже недосконалими. У відходи потрапляли не тільки глинистий матеріал і недорозчинений полігаліт і галіт, але й ропа з високим вмістом хлористого натрію та калійно-магнієвих солей. На практиці технологія збагачення виявилась недосконалою та вкрай неефективною:

1. З 1 тонни калійних руд, внаслідок флотаційного збагачення утворювалось 700-800 кг відходів, у тому числі практично половина калію і магнію;

2. У відходи потрапляли не тільки нерозчинний залишок глинисто-мулисто-піщаного складу, але й недорозчинені лангбейніт та полігаліт, а також галіт та ропа з високим вмістом хлористого натрію та калійно-магнієвих солей;

3. Готовий продукт "Каліймаг" містив підвищений вміст галіту;

4. Хлорид натрію у значних об'ємах йшов у відходи;

5. Утворювались значні об'єми відходів, які призводили до пришвидшеного переповнення хвостосховища;

6. Переповнення Стебницького хвостосховища, опосередковано стало причиною аварії та регіональної екологічної катастрофи, внаслідок прориву його дамби 15 вересня 1983 р. та виливу у р. Дністер 4,5 млн. $м^3$ висококонцентрованої ропи;

7. Для процесу збагачення були притаманні значні енергетичні затрати;

8. Побічним наслідком температурного та реагентного (кислотного) впливу на хлоридні солі стало забруднення атмосферного повітря хлором;

9. Для Стебницької збагачувальнохї фабрики, після її зупинки в 1983 році на реконструкцію, була розроблена технологія перероблення руди галургійним методом з попередньою її гідратацією (шенітизацією) з метою поліпшення розчинності і підвищення коефіцієнта витягу калію до 70…80 %. Однак показники вихідних даних не були підтверджені при реальній роботі фабрики, оскільки реконструкція так і не була здійснена.Через аварію хвостосховища 15 вересня 1983 року, об'єми видобутку та збагачення скоротили, а у 1988 році, через низьку ефективність, високу енергоємність, значний відсоток втрат (40-50 %) корисних компонентів, переповнення хвостосховища, її робота повністю припинена, і фабрика виведена з експлуатації у сподіванні на реконструкцію, яка через економічні проблеми так і не відбулась.

Висновки

За результатами проведених досліджень, можна зробити наступні висновки:

1. Каїніт-лангбейнітові руди є досить поширинми у світі та у низці країн був і є досвід їх видобування та збагачення (Німеччина, Італія, США, Україна).

2. У порівнянні із сильвіновими рудами, каїніт-лангбейнітові руди значно менш поширені, мають зазвичай менший вміст калію, важче збагачується, що спричинило їх значно менші масштаби видобування, збагачення та отримання готової продукції, при більшому об'ємі відходів, нижчій ефективності збагачення, вищій собівартості продукції, незважаючи на переваги – збагаченість магнієм, сульфатами, мікроелементами.

3. У межах Передкарпатського прогину розвідано понад 20 родовищ із загальними запасами біля 7 млрд тонн т або біля 700 млн. тонн еквіваленту $К_2О$.

4. Родовища Передкарпатського прогину на відміну від більшості найбільш значущих калійних ресурсів Світу належать до сульфатного типу із переважаючим каїніт-лангбейнітовим складом, містять $К_2О$ на рівні 10 % (у порівнянні із найбільшими родовищами світу від 17 % і більше), підвищені вмісти нерозчинного залишку та підвищені вмісти хлориду натрію.

5. Родовища Передкарпатського прогину, безумовно попередньо розвідані, але достовірність та приріст запасів у кожному окремому випадку може бути здійснений не при бурінні розвідувальних свердловин з поверхні, а при проходженні гірничих виробок та підземному бурінні, а також проходженні гірничих виробок вздовж рудних тіл.

6. Родовища Передкарпатського прогину характеризуються складними гірничо-геологічними та гідрогеологічними умовами видобутку із високими ризиками водопритоків та активізації соляного карсту, потребують ретельного моніторингу та негайного вжиття ефективних заходів для недопущення аварійних ситуацій.

7. Потенційним надрокористувачам потрібно врахувати досвід збагачення калійних солей у світі, насамперед в Німеччині, Італії та США, а також в Україні на Стебницькому та групі Калуш-Голинських родовищ, щоб не повторити вже зроблені помилки із неефективного збагачення, надмірного утворення відходів, переповнення хвостосховищ

та виникнення аварійних ситуацій, маючи розроблену та апробовану ефективну технологію збагачення.

Список використаних джерел:

1. Іванов А.А. Галогенні формації. Надра, 1972. – с. 328.
2. Ерайзер Л.М. Перероблення полімінеральних руд Прикарпаття в калійні добрива методом сульфатного вилуговування. Одеса, Екологія, 2015. – с.136.
3. Кропивницька Л.М. Одержання лангбейнітового концентрату з галіто-лангбейнітового залишку калійних руд Прикарпаття. Львів, 2002. – с.130.
4. Карпець М.В. Полімінеральні калійні руди Прикарпаття. Перероблення з розчиненням у воді. Хімічна промисловість України, 2007, № 2. – с. 29-32.
5. Рудько Г.І., Петришин В.Ю. Соляні ресурси Передкарпаття та перспективи їх використання. Київ; Чернівці: Букрек, 2017
6. Хацевич О.М. Технологія перероблення полімінеральної калійної руди з конверсією важкорозчинних мінералів у каїніт: автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук: спеціальність 05.17.01 "Технологія неорганічних речовин". Львів, 2007. – с. 20.
7. Яворський В.Т. Нові технології перероблення полімінеральних калійних руд Прикарпаття. Збірник наукових праць ІІІ Української науково-технічної конференції з технології неорганічних речовин "Сучасні проблеми технології неорганічних речовин". Дніпропетровськ, 2006. – С. 70-71.
8. Яремчук Б.М. Деякі нові підходи до переробки полімінеральних калійних руд Прикарпаття. Хімічна промисловість України, 1995. № 2. – с. 45-49.

References

Erayzer, L. (2015). *Processing of polymineral ores from the Pre-Carpathian region into potassium fertilisers using the sulphate leaching method*. Ecology. [In Ukrainian]

Ivanov, A. (1972). *Halogen formations*. Nadra. [In Ukrainian]

Karpets, M. (2007). Study of dissolution process of polymineral potassium ore from the Pre-Carpathian region in salt solutions. *Chemical Industry of Ukraine*, (2), 29–32. [In Ukrainian]

Khatsevych, O. (2007). *Technology of processing polymineral potassium ore with conversion of difficult dissolvent minerals into kainite* [Unpublished PhD thesis abstract]. [In Ukrainian]

Kropyvnytska, L. (2022). *Production of langbeinite concentrate from the halite-langbeinite residue of potassium ores from the Pre-Carpathian region* [Unpublished PhD thesis abstract]. [In Ukrainian]

Rudko, H., & Petryshyn, V. (2017). *Salt resources of the Pre-Carpathian region and prospects for their use*. Bukrek. [In Ukrainian]

Yaremchuk, B. (1995). Some new approaches to polymineral potassium ore processing in the Pre-Carpathian region. *Chemical Industry of Ukraine*, (2), 45–49. [In Ukrainian]

Yavorskyi, V. (2006). New technologies of polymineral potassium ore processing in the Pre-Carpathian region. In *Proceedings of the III Ukrainian Scientific and Technical Conference on Inorganic Substances Technology: Contemporary Problems in Inorganic Substances Technology* (pp. 70–71). [In Ukrainian]

УДК 553.51:330.322

ІНВЕСТИЦІЙНИЙ ПОТЕНЦІАЛ ВІРОВСЬКОГО РОДОВИЩА ВАПНЯКУ В КОНТЕКСТІ СУЧАСНИХ ТЕНДЕНЦІЙ МІНЕРАЛЬНО-СИРОВИННОГО СЕКТОРУ ТА ВІДБУДОВИ УКРАЇНИ

***Піскун І.А.**, доктор філософії, ORCID ID 0000-0002-1658-5344, ihor@ztu.edu.ua,*
Державний університет «Житомирська політехніка», Житомир, Україна

Оцінено інвестиційний потенціал Віровського родовища вапняку Херсонської області на тлі сучасного стану галузі, потреб відбудови України та безпеково-інфраструктурних обмежень південного регіону. Родовищу властиві значні балансові запаси категорій $B+C_1$ – 10,09 млн т, сприятливе майже горизонтальне залягання продуктивної товщі середньою потужністю 16,7 м та достатньо високий вміст карбонатної складової (середній CaO становить 50,57 %, що відповідає приблизно 90,3 % $CaCO_3$). Встановлено, що ресурсні й гірничо-геологічні параметри формують довгостроковий потенціал для відкритої розробки та орієнтації на цементно-вапняний і будівельний сегменти. Водночас поточна інвестиційна готовність родовища є низькою через розташування Тягинської громади в зоні активних бойових дій, мінну небезпеку, пошкодження інфраструктури, демографічні втрати та невизначеність логістики. Обґрунтовано, що Віровське родовище доцільно розглядати як відкладений інвестиційний актив, на сучасному етапі пріоритетними є передінвестиційні дослідження, а капіталомістка розробка може бути актуалізована після стабілізації безпекової ситуації та підтвердження ринкових контрактів.

Ключові слова: Віровське родовище, вапняк, інвестиційний потенціал, надрокористування.

INVESTMENT POTENTIAL OF THE VIROVSKE LIMESTONE DEPOSIT IN THE CONTEXT OF CURRENT MINERAL-SECTOR TRENDS AND UKRAINE'S RECONSTRUCTION

***Piskun I.**, PhD, ORCID ID 0000-0002-1658-5344, ihor@ztu.edu.ua,*
Zhytomyr Polytechnic State University, Zhytomyr, Ukraine

The investment potential of the Virovske limestone deposit in Kherson is assessed against the current condition of Ukraine's limestone sector, reconstruction needs, and the security and infrastructure constraints affecting the southern regions. The deposit has 10.09 Mt of balance reserves in categories $B+C_1$, favourable nearly horizontal bedding with an average productive thickness of 16.7 m, and a sufficiently high carbonate content: average CaO is 50.57%, corresponding to approximately 90.3% $CaCO_3$. These resource and mining-geological parameters provide long-term potential for open-pit extraction and for supplying the cement-lime and construction-material sectors. However, the deposit's current investment readiness is low because the Tiahynka community remains exposed to active hostilities, mine hazards, damaged infrastructure, severe demographic losses, and logistics uncertainty. The Virovske deposit should therefore be treated as a deferred investment asset. At the present stage, low-capital pre-investment studies are a priority, while capital-intensive development should be considered after security stabilisation, mine clearance, renewed technical verification, logistics redesign, and confirmation of off-take demand.

Keywords: Virovske deposit, limestone, investment potential, subsoil use.

Вступ. Під час оцінювання інвестиційної привабливості родовищ нерудної сировини принципово важливо розмежовувати ресурсний потенціал і фактичну готовність проєкту до капіталовкладень. Значні запаси самі по собі не гарантують економічної доцільності розробки, для масової відносно низькомаржинальної сировини вирішальними стають транспортне плече, стабільний збут, технологічна придатність, доступність енергетики, землевідведення та безпекові умови. Для України це питання набуло особливого значення через одночасне зростання майбутньої потреби у будівельних матеріалах і суттєве погіршення умов функціонування частини сировинної бази на півдні та сході країни.

За п'ятою Швидкою оцінкою завданої шкоди та потреб на відновлення (RDNA5), станом на 31 грудня 2025 р. сукупна потреба України у відбудові та відновленні на наступне десятиліття оцінюється майже у 588 млрд дол. США, а найбільші обсяги пошкоджень припадають на житловий, транспортний та енергетичний сектори [1]. Це формує довгостроковий попит на цемент, вапно, бетон, дорожні матеріали й іншу карбонатну сировину. Водночас дослідження IFC показує, що національні цементні потужності загалом можуть покривати значну частину прогнозованого попиту, за оцінкою 2025 р., виробнича потужність становила близько 13,6 млн т на рік, тоді як очікуваний

щорічний попит у фазі відбудови оцінено в межах 5,5-11 млн т [2]. Отже, інвестиційна привабливість нового вапнякового проєкту визначатиметься його регіональною конкурентоспроможністю, логістикою та здатністю інтегруватися у конкретні ланцюги постачання.

Попередній аналіз української вапнякової галузі засвідчив структурну залежність попиту від будівництва й металургії, різке скорочення видобутку після 2014 та 2022 років (рис. 1) і необхідність переорієнтації сировинних потоків унаслідок втрати або обмеження доступу до частини традиційних родовищ [3, 5].

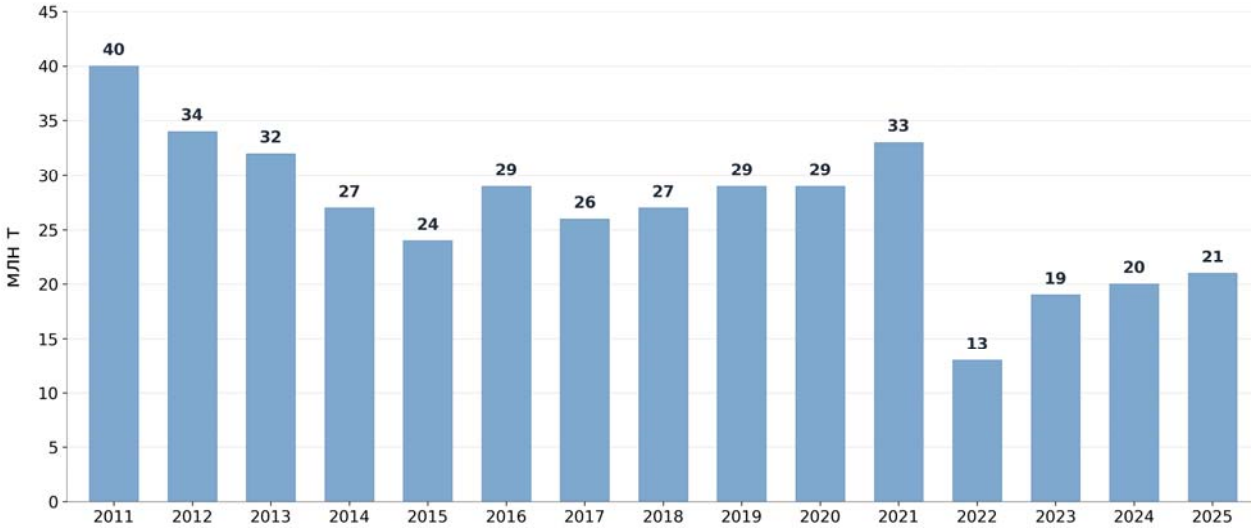


Рис. 1. Динаміка обсягів видобування вапнякової сировини в Україні у 2011-2025 роках

У цьому контексті Віровське родовище є показовим об'єктом, оскільки його геологічні параметри є відносно сприятливими, однак територіальне розташування пов'язане з безпековими ризиками.

Мета та методи дослідження. Метою роботи є визначення реального інвестиційного потенціалу Віровського родовища вапняку з урахуванням не лише запасів і якості сировини, а й сучасної кон'юнктури ринку, потреб відбудови, логістичних обмежень та поточної безпекової ситуації. Інформаційною базою є результати геолого-аналітичного звіту щодо Віровського родовища, опубліковане дослідження тенденцій використання вапнякової сировини в Україні, RDNA5, матеріали IFC щодо будівельних матеріалів, Інвестиційний атлас Держгеонадр та Атлас умов і ресурсів Тягинської територіальної громади 2025 р [4]. Застосовано факторний інвестиційний скринінг за сімома групами параметрів: ресурсна база, гірничо-геологічні умови, якість сировини, ринковий потенціал, логістика, безпека та проєктна готовність.

Виклад основного матеріалу. Віровське родовище розташоване у Бериславському районі Херсонської області приблизно за 4,2 км на південний схід від с. Вірівка (рис. 2). Корисна товща представлена двома майже горизонтальними пластоподібними тілами вапняку, розділеними глинистим прошарком. Потужність продуктивної товщі змінюється від 12,3 до 23,1 м і в середньому становить близько 16,7 м. Неглибоке залягання, субгоризонтальна будова та значна потужність пласта є сприятливими для відкритої розробки, оскільки потенційно зменшують складність розкриття та селективного відпрацювання порівняно з глибокими або сильно дислокованими покладами [6].

Балансові запаси категорії В становлять 3,815 млн т, категорії C_1 – 6,275 млн т; сумарно $B+C_1$ – 10,090 млн т. За умовного вилучення 95 %, прийнятого у вихідному звіті лише для попередньої оцінки, потенційно видобувна маса становить близько 9,5 млн т. За запасами родовище здатне забезпечити не короткостроковий локальний кар'єр, а середньо- або довгостроковий промисловий проєкт.

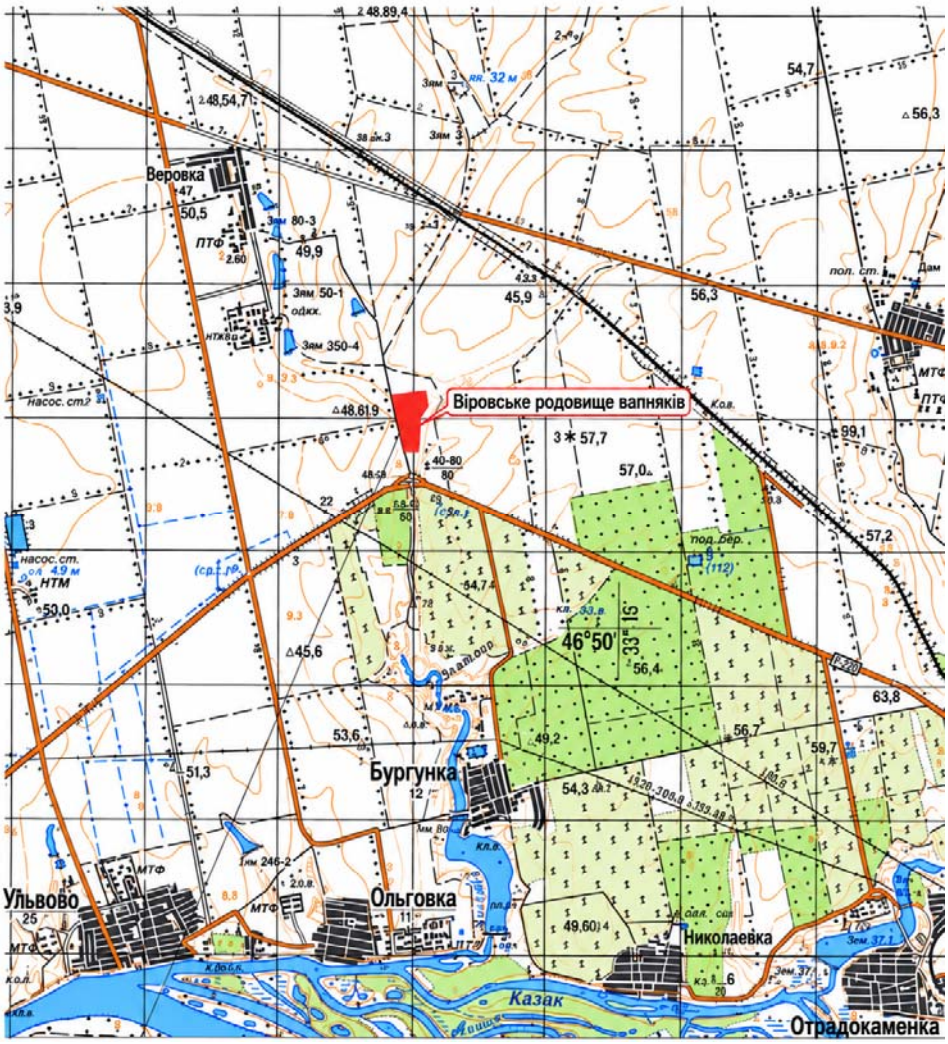


Рис. 2. Оглядова карта розташування Віровського родовища вапняку

Середній вміст CaO становить 50,57 %, MgO – 1,13 %, SiO_2 – 4,16 %, Al_2O_3 – 0,89 %, Fe_2O_3 – 0,63 %, а вміст P_2O_5 і SO_3 – по 0,05 %. Стехіометричний перерахунок середнього CaO відповідає приблизно 90,3 % $CaCO_3$. Така композиція дозволяє розглядати цементно-вапняний напрям як один із базових варіантів промислового використання, однак для інвестиційного рішення необхідні повторне опробування, статистичне моделювання мінливості якості по блоках, випробування випалюваності та розрахунок цементної сировинної шихти. Без цих даних некоректно автоматично переносити середні лабораторні показники на весь промисловий запас.

Фізико-механічні характеристики водночас звужують частину потенційних ринків. Середня пористість становить 28,5 %, водопоглинання 6,61 %, межа міцності при стисканні у водонасиченому стані близько 94 кг/см² (≈9,2 МПа), а середній коефіцієнт розм’якшення 0,56. Тому використання Віровського вапняку як високоміцного щебеню або матеріалу для відповідальних конструкцій не може вважатися підтвердженим. Для дорожнього та будівельного сегментів потрібні окремі випробування гранулометрії, стираності, морозостійкості, вмісту слабких зерен та інших показників відповідно до цільового стандарту. Інвестиційно це означає, що найбільш обґрунтованим є не універсальне позиціонування родовища, а сегментація запасів за якістю і прив’язка кожної товарної фракції до конкретного ринку.

Найбільш суттєво інвестиційна оцінка змінюється після врахування поточної ситуації на території розташування родовища. Атлас Тягинської територіальної громади 2025 р. фіксує, що після деокупації майже вся територія громади залишалася територією активних бойових дій, серед пріоритетів повоєнного відновлення прямо визначено

розмінування та відновлення доріг, залізничного сполучення, електро-, водо- і газопостачання [6]. Станом на 1 січня 2025 р. населення громади скоротилося на 91,5 % від довоєнного рівня, приблизно до 850 осіб, що суттєво знижує доступність місцевих трудових ресурсів. За таких умов фізичне будівництво кар'єру та стаціонарної переробної інфраструктури наразі не можна вважати інвестиційно раціональним рішенням.

Вагомий вплив безпекова ситуація має і на оцінку логістики. Однією з ключових переваг родовища є його близькість до Дніпра і пристані (розташоване приблизно за 15 км), однак у сучасних умовах така близькість є лише довгостроковою опцією, а не готовим транспортним рішенням, оскільки регіон зазнав системних руйнувань, Каховська ГЕС знищена, а план відновлення громади передбачає фактичне відновлення транспортної та інженерної інфраструктури. Отже при виконанні ТЕО необхідно порівняти автомобільний, залізничний та водний сценарії з урахуванням післявоєнної конфігурації мережі.

Таблиця 1

Оцінка інвестиційних факторів Віровського родовища станом на 2026 р.

Фактор	Фактичний стан	Інвестиційна інтерпретація
Запаси	$B+C_1$ – 10,09 млн т, орієнтовно до 9,5 млн т видобувної маси за вилучення 95 %	Запаси достатні для середньо- і довгострокового проєкту
Гірничо-геологічні умови	Пласти майже горизонтальні, середня потужність близько 16,7 м, неглибоке залягання	Потенційно сприятлива відкрита розробка, потребує актуалізації розкриву, гідрогеології та стану території
Хімічна якість	CaO 50,57 %, розрахунково ≈90,3 % $CaCO_3$ та низькі P_2O_5 і SO_3	Перспективно для цементно-вапняного напряму після технологічної верифікації
Фізико-механічні властивості	Пористість 28,5 %, водопоглинання 6,6 %, коефіцієнт розм'якшення 0,56	Обмежене використання в якості дорожніх матеріалів через підвищений вміст матеріалу низької міцності
Ринок	Масштабні потреби в контексті відбудови (будівництво, виготовлення цементу)	Позитивний довгостроковий драйвер
Логістика	Близькість до Дніпра розглядалася як перевага, дорожня, залізнична та інша інфраструктура регіону пошкоджена	У поточних умовах – значна невизначеність і потреба у новому логістичному моделюванні, потенційна післявоєнна перевага
Безпека і трудові ресурси	Тягинська громада належить до територій активних бойових дій, Вірівка зазнає обстрілів та має значні демографічні втрати	Критичне обмеження для негайного CapEx; пріоритетом буде безпека, розмінування та відновлення базової інфраструктури
Проєктна готовність	Відсутнє повне актуальне ТЕО, підтверджені контракти на закупівлю майбутньої продукції та сучасні логістичні моделі	Низька поточна інвестиційна привабливість, доцільний передінвестиційний етап замість негайного будівництва кар'єру

З ринкової точки зору найбільш обґрунтованими є два основні напрями. Перший полягає в постачанні карбонатної сировини для цементного і вапняного виробництва після підтвердження технологічної придатності та укладання довгострокових контрактів на закупівлю майбутньої продукції. Другий полягає у виробництві локальних будівельних матеріалів для реконструкції доріг і населених пунктів півдня України, але лише для тих класів продукції, яким фактично відповідають фізико-механічні показники. Металургійний, агрохімічний та інші спеціалізовані напрями доцільно розглядати як додаткові, оскільки для них потрібне окреме підтвердження відповідності нормативним і споживчим вимогам, а значне транспортне плече може нівелювати цінність сировини.

Таким чином, інвестиційний сценарій має бути поетапним. На поточному етапі раціональними є роботи з відносно невисокою капіталоємністю, правовий та ліцензійний

аудит, уточнення меж і статусу земель, повторне геологічне опробування, формування цифрової блочної моделі якості, лабораторно-технологічні випробування для конкретних продуктів, оцінка мінної небезпеки, актуалізація екологічних обмежень, моделювання логістики та попередні переговори зі споживачами. Після стабілізації безпеки і розмінування можливий перехід до модульного кар'єрно-дробарного комплексу з поступовим нарощуванням потужності. Лише після підтвердження стабільного збуту доцільно розглядати глибшу переробку, зокрема виробництво вапна або інші капіталомісткі технологічні лінії.

Висновки. Віровське родовище має реальний довгостроковий інвестиційний потенціал, але станом на 2026 р. не є інвестиційно готовим для капіталомісткої розробки. Його сильними сторонами є значні балансові запаси $B+C_1$ у 10,09 млн т, сприятлива геометрія покладу, неглибоке залягання та середній вміст CaO 50,57 %, що формує перспективу передусім для цементно-вапняного і частково будівельного напрямів. Водночас поточний безпековий стан Тягинської громади, обстріли, необхідність розмінування, пошкодження транспортної та інженерної інфраструктури і значні демографічні втрати є критичними факторами, які переважають геологічні переваги в короткостроковій перспективі. Тому Віровське родовище доцільно позиціонувати як відкладений інвестиційний актив повоєнної відбудови півдня України.

Список використаних джерел:

1. World Bank, Government of Ukraine, European Commission, & United Nations. (2026). Ukraine: Fifth Rapid Damage and Needs Assessment (RDNA5), February 2022–December 2025. World Bank. https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/099022026094036395

2. International Finance Corporation. (2025). Rebuilding Ukraine: Investment opportunities in innovative and sustainable construction. World Bank Group. https://www.ifc.org/content/dam/ifc/doc/2025/rebuilding-ukraine-investment-opportunities-in-construction-en.pdf

3. Державна служба геології та надр України. (2026). Інвестиційний атлас надрокористувача. https://www.geo.gov.ua/invest-atlas/

4. Майборода Є.І., Зубаль О.О. (2023). Оцінка геологічних ризиків при освоєнні вітчизняних родовищ карбонатних порід. Мінеральні ресурси України, 3, 25-29. https://doi.org/10.31996/mru.2023.3.25-29.

5. Наумов, Я. О., Піскун, І. А., Котенко, В. В., Гнітецький, О. М. (2025). Стан і тенденції використання вапнякової сировини в Україні у 2011–2023 роках із визначенням стратегічних орієнтирів відбудови. Технічна інженерія, 2(96), 244–251. https://doi.org/10.26642/ten-2025-2(96)-244-251

6. Остапенко, П., Мальчикова, Д., Пилипенко, І., та ін. (2025). Тягинська територіальна громада та виклики воєнного часу: атлас умов та ресурсів. Товариство дослідників України; Херсонський державний університет. https://khoda.gov.ua/storage/app/sites/49/diialnist/detsentralizatsiia/atlas-umov-resursiv/tiahynska-terytorialna-hromada-vyklyky-voiennoho-chasu-atlas-umov-resursiv.pdf

References

1. International World Bank, Government of Ukraine, European Commission, & United Nations. (2026). Ukraine: Fifth Rapid Damage and Needs Assessment (RDNA5), February 2022–December 2025. World Bank. https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/099022026094036395

2. International Finance Corporation. (2025). Rebuilding Ukraine: Investment opportunities in innovative and sustainable construction. World Bank Group. https://www.ifc.org/content/dam/ifc/doc/2025/rebuilding-ukraine-investment-opportunities-in-construction-en.pdf

3. State Service of Geology and Subsoil of Ukraine. (2026). Investytsiinyi atlas nadrokorystuvacha [Subsoil user investment atlas]. https://www.geo.gov.ua/invest-atlas/ [in Ukrainian]

4. Maiboroda, Ye. I., & Zubal, O. O. (2023). Otsinka heolohichnykh ryzykiv pry osvoienni vitchyznianykh rodovyshch karbonatnykh porid [Assessment of geological risks in the development of domestic carbonate rock deposits]. Mineralni resursy Ukrainy, 3, 25–29. https://doi.org/10.31996/mru.2023.3.25-29 [in Ukrainian].

5. Naumov, Y. O., Piskun, I. A., Kotenko, V. V., & Hnitetskyi, O. M. (2025). Stan i tendentsii vykorystannia vapniakovoi syrovyny v Ukraini u 2011–2023 rokakh iz vyznachenniam stratehichnykh oriientyriv vidbudovy [The state and trends in the use of limestone raw materials in Ukraine, 2011–2023, with the identification of strategic guidelines for reconstruction]. Tekhnichna inzheneriia, 2(96), 244–251. https://doi.org/10.26642/ten-2025-2(96)-244-251 [in Ukrainian]

6. Ostapenko, P., Malchykova, D., Pylypenko, I., et al. (2025). Tiahynska terytorialna hromada ta vyklyky voiennoho chasu: atlas umov ta resursiv [Tiahynka territorial community and wartime challenges: Atlas of conditions and resources]. Society of Researchers of Ukraine; Kherson State University. https://khoda.gov.ua/storage/app/sites/49/diialnist/detsentralizatsiia/atlas-umov-resursiv/tiahynska-terytorialna-hromada-vyklyky-voiennoho-chasu-atlas-umov-resursiv.pdf [in Ukrainian]

УДК 556.3 + 553.494

ГІДРОГЕОЛОГІЧНІ УМОВИ ОСВОЄННЯ НОСАЧІВСЬКОГО РОДОВИЩА АПАТИТ-ІЛЬМЕНІТОВИХ РУД

Струтинська К.С., *katerinazt2009@ukr.net,*
Державна комісія України по запасах корисних копалин, Київ, Україна

Наведено результати дослідження гідрогеологічних умов, які супроводжуватимуть роботи з видобутку апатит-ільменітових руд Носачівського родовища.

Ключові слова: гідрогеологія, титанові руди, умови видобутку.

HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS OF THE NOSACHIVSKE APATITE-ILMENITE ORE DEPOSIT DEVELOPMENT

Strutynska K., *katerinazt2009@ukr.net,*
State Commission of Ukraine on Mineral Resources, Kyiv, Ukraine

Research results on hydrogeological conditions related to the apatite-ilmenite ore extraction at the Nosachivske deposit have been outlined.

Keywords: hydrogeology, titanium ores, mining conditions.

Вступ. У межах Корсунь-Новомиргородського плутону Українського щита в результаті геолого-знімальних та пошукових робіт у 80-х роках XX століття в габроїдних породах було відкрито кілька ільменітових та апатит-ільменітових рудопроявів, руди яких мають вміст TiO_2 40 % і більше. Ці титанові родовища отримали назви: Носочівське, Межиричеське, Калинівське, Південно-Цвєтковське, Волковське, Воронівське та Цвєтковське.

Гостра потреба кольорової металургії та хімічної промисловості України в титановій сировині зумовила інтерес до подальшого вивчення цих рудних проявів на всебічному рівні.

З усіх титанових рудопроявів Корсунь-Новомиргородського плутону найбільший практичний інтерес представляє Носочівське родовище, тому на сьогодні геологія, мінералогія
та інші його геологічні особливості є найбільш вивченими [2].

Було встановлено, що це родовище просторово пов’язане з крутопадаючою штокоподібною структурою габро-норитового складу, включеною до масиву основних порід.

Особливий інтерес викликають результати технологічних досліджень руди. За результатами цих досліджень було встановлено, що титанові руди Носочівського родовища є високотехнологічними, ільменіт у рудах слабо змінений, вміст у них хрому, фосфору, магнію, магнетиту та інших шкідливих домішок надзвичайно низький, а ільменітові концентрати, що отримуються з руд, є унікальними для виробництва пігментного діоксиду титану і за всіма показниками можуть слугувати еталоном якості титановмісної сировини.

З метою подальшого вивчення Носочівського родовища на початку XXI століття геологами Державної геологічної служби НАК "Надра України" ДП "Центрукргеологія" було проведено роботи з вивчення гідрогеологічних умов осадового покриву та кристалічних порід ділянки, де планується закладання шахтного ствола. Отримані результати були відображені в низці виробничих звітів, однак досі не опубліковані. У наведеному нижче матеріалі наводяться основні отримані результати.

Короткий геологічний нарис. Територія Носочівського родовища розташована в центральній частині Українського щита, де розвинені основні породи Корсунь-Новомиргородського комплексу протерозойських інтрузивних утворень. Ці кристалічні породи перекривають осадові утворення крейдяного, палеогенового, неогенового та четвертинного віку.

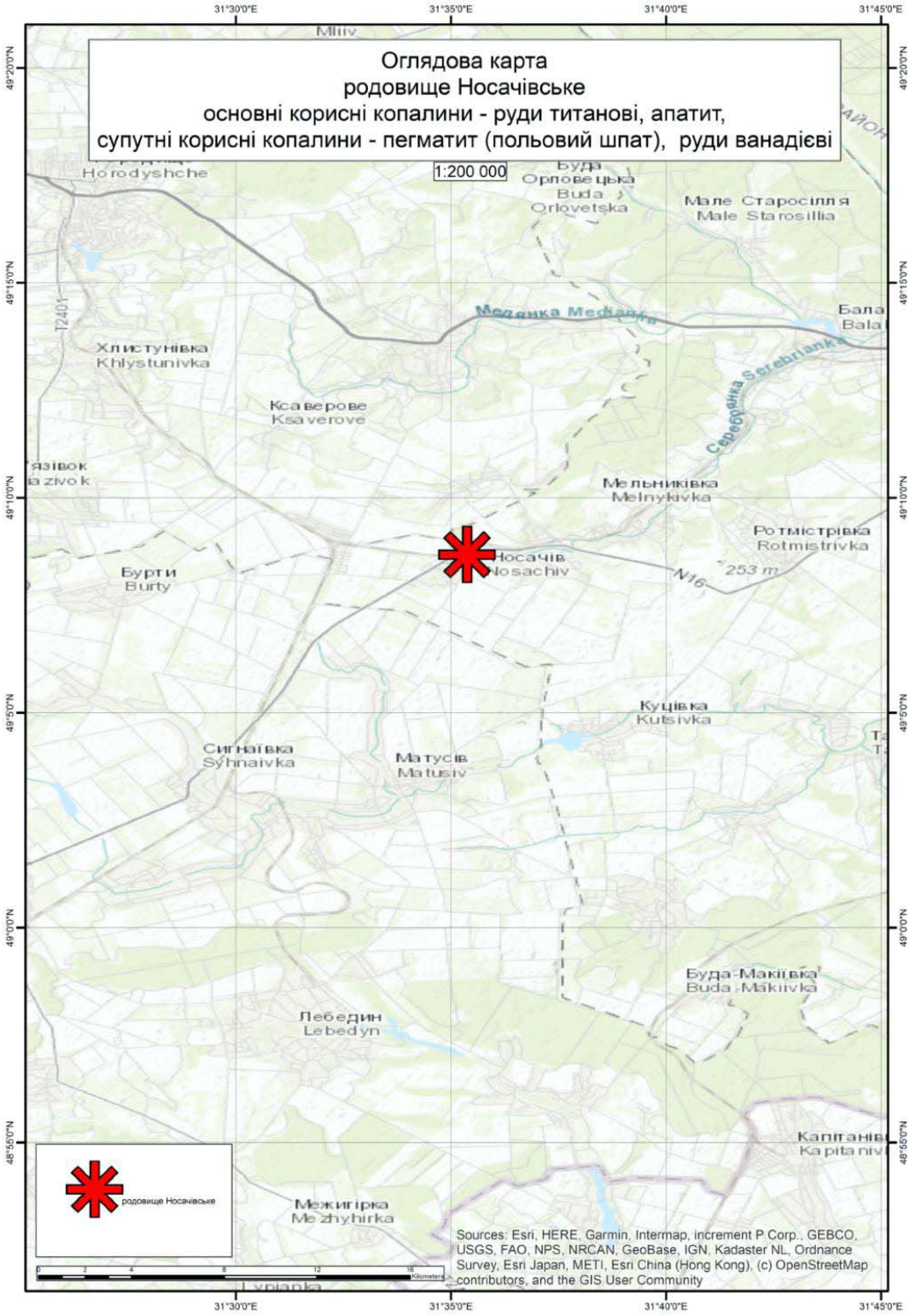


Рис. 1. Оглядова карта Носочівського родовища [1]

Крейдяні відклади представлені майже горизонтально залягаючими вторинними каолінами та каолінистими пісками, які містять прошарки бокситів і бокситоподібних порід аптського ярусу (смілянські шари). Їхня потужність сягає 2 м. Каолінисті піски містять численні зерна ільменіту, які з'явилися в пісках у результаті вивітрювання основних порід, що їх підстилають.

Палеогенові відклади представлені породами середньоеоценового (бучакський і київський регіояруси) та верхньоеоценового віку (обухівський і межигірський регіояруси).

Відклади бучакського регіоярусу складаються з глауконіт-кварцових дрібнозернистих пісків, що містять обвуглені рослинні рештки, різнозернистих кварцових пісків із прошарками вторинних каолінів, вугільних глин та бурого вугілля, різнозернистих кварцових пісків з галькою кварцу та лінзами окремненого пісковика, вугільних дрібнозернистих пісків та вугільних глин, що містять прошарки бурого вугілля, пісковиків та вторинних каолінів. Товщина цих відкладень становить 0,5–10 м.



NN	ПнШ WGS84	СхД WGS84	ПнШ Pulkovo42	СхД Pulkovo42
1	49° 9' 15,259" N	31° 36' 1,186" E	49° 9' 16,100" N	31° 36' 7,375" E
2	49° 9' 8,042" N	31° 36' 10,545" E	49° 9' 8,883" N	31° 36' 16,733" E
3	49° 9' 3,267" N	31° 36' 8,810" E	49° 9' 4,107" N	31° 36' 14,998" E
4	49° 8' 53,523" N	31° 36' 20,952" E	49° 8' 54,363" N	31° 36' 27,140" E
5	49° 8' 50,846" N	31° 36' 16,284" E	49° 8' 51,687" N	31° 36' 22,471" E
6	49° 8' 50,225" N	31° 36' 9,238" E	49° 8' 51,066" N	31° 36' 15,426" E
7	49° 8' 48,983" N	31° 36' 5,555" E	49° 8' 49,824" N	31° 36' 11,742" E
8	49° 8' 51,542" N	31° 36' 2,076" E	49° 8' 52,383" N	31° 36' 8,263" E
9	49° 8' 38,933" N	31° 35' 37,896" E	49° 8' 39,774" N	31° 35' 44,084" E
10	49° 8' 33,343" N	31° 35' 32,028" E	49° 8' 34,185" N	31° 35' 38,216" E
11	49° 8' 33,258" N	31° 35' 28,666" E	49° 8' 34,099" N	31° 35' 34,854" E
12	49° 8' 30,517" N	31° 35' 25,218" E	49° 8' 31,358" N	31° 35' 31,406" E
13	49° 8' 21,972" N	31° 35' 22,284" E	49° 8' 22,814" N	31° 35' 28,471" E
14	49° 8' 8,269" N	31° 34' 58,181" E	49° 8' 9,112" N	31° 35' 4,368" E
15	49° 8' 23,945" N	31° 34' 38,496" E	49° 8' 24,788" N	31° 34' 44,684" E
16	49° 8' 35,458" N	31° 34' 33,614" E	49° 8' 36,300" N	31° 34' 39,802" E
17	49° 8' 37,205" N	31° 34' 49,444" E	49° 8' 38,047" N	31° 34' 55,631" E
18	49° 8' 46,097" N	31° 34' 59,003" E	49° 8' 46,939" N	31° 35' 5,191" E
19	49° 8' 46,200" N	31° 35' 8,563" E	49° 8' 47,041" N	31° 35' 14,751" E
20	49° 9' 12,772" N	31° 35' 30,869" E	49° 9' 13,613" N	31° 35' 37,058" E

Рис. 2. Ситуаційний план родовища Носачівського [1]

Відклади київського регіоярусу представлені товщею блакитно-зелених мергелів і мергелястих пісків. Товщина цих порід сягає 15 м.

До порід обухівського регіоярусу віднесені алевритові піски, товщина яких сягає 22 м. Ці піски мають поступовий контакт із нижньолежачими середньоеоценовими мергелями київського регіоярусу.

Відклади межигірського регіоярусу представлені безкарбонатними глауконіт-кварцовими, іноді глинистими пісками та прошарками піщаних глин. У пісках часто зустрічаються прошарки кварцових пісковиків товщиною 0,2–8 м. Товщина межигірських відкладів сягає 30 м.

Вище цих порід знаходяться відклади полтавської серії (берецький і новопетровський регіояруси), які датуються олігоцен-міоценовим віком.

Берецькі породи (олігоцен) представлені кварцовими пісками та монтморилонітовими піщаними глинами товщиною 3–21 м.

Новопетровські породи (міоцен) представлені кварцовими пісками, глинами та глинистими пісками. Товщина цих порід сягає 30 м.

Міоценові відклади представлені товщею строкатих глин сірого, зеленуватого та жовтувато-сірого кольорів, які містять охристі та бурі плями гідроксидів заліза та марганцю. Потужність цих порід сягає 5 м.

Пліоценові відклади представлені товщею червоно-бурих глин, потужність яких сягає 15 м. Ці глини бурі, червоно-бурі, піщанисті, озалізнені, часто містять карбонатні

вкраплення. У нижній частині цієї товщі глини переходять у червоно-бурі глинисті піски, товщина яких сягає 2–3 м.

Четвертинні відклади представлені глинами, суглинками та алювіальними пісками, товщина яких сягає 25–30 м.

Гідрогеологічні умови родовища. Гідрогеологічні умови Носачівського родовища складні внаслідок відмінності осадових порід по літологічному складу, умовам живлення, циркуляції і розвантаження підземних вод, їх гідродинамічним і гідрохімічним особливостям.

Носачівське родовище по геолого-гідрогеологічним умовам, характеру і величині водотоків, умовам експлуатації, методам боротьби з підземними водами відноситься до IV типу – "Родовища в тріщинуватих скальних породах, перекритих пухкими утвореннями".

На родовищах даного типу основну роль відіграють тріщинуваті води, які мають зв'язок з пластовими водами осадового чохла. Водозбагаченість родовищ цього типу залежить від ступеня тріщинуватості і тектонічної роздробленості скальних порід.

Гідрогеологічні особливості даної площі визначаються її положенням у північно-східній частині Українського щита, для якого характерне повсюдне і неглибоке залягання кристалічного фундаменту, покритого чохлом пісчано-глинистих осадових відкладів різного віку порівняно невеликої потужності.

Дана площа характеризується розповсюдженням підземних вод у четвертинних, неогенових, палеогенових, крейдових відкладах та в тріщинуватій зоні кристалічних порід докембрію.

У відповідності з геологічною будовою і гідрогеологічними особливостями території виділяються наступні водоносні горизонти і комплекси:

– водоносний горизонт у сучасних алювіальних відкладеннях заплав рік і днищ балок (горизонт 1);

– водоносний горизонт у нерозчленованих середньо-верхньочетвертинних еолово-делювіальних відкладеннях (горизонт 2);

– водоносний горизонт у середньочетвертинних водольодовикових і озерних відкладеннях прохідних долин (горизонт 3);

– водоносний комплекс у міоценових відкладеннях (горизонт 4);

– водоносний комплекс у харківських відкладеннях (горизонт 5);

– водоносний комплекс у бучацьких відкладеннях (горизонт 6);

– водоносний комплекс у відкладеннях крейди смілянської товщі (горизонт 7);

– води тріщинуватої зони кристалічних порід докембрію і продуктів їх вивітрювання (горизонт 8).

Матеріал і методи досліджень. Для вивчення гідрогеологічних умов осадового чохла було пробурено 5 гартувальних свердловин (261,0 п.м.) і три гідрогеологічні дослідні кущі з центральними свердловинами (№№ 1Г, 2Г, 4Г), по одному на кожний водоносний горизонт: у середньочетвертинних водольодовикових і озерних відкладах прохідних долин, у бучацьких відкладах і відкладах крейди смілянської товщі. Гідрогеологічні кущі складаються з однієї центральної і трьох спостережних свердловин, крім куща № 2Г, де ще додатково пробурений п'єзометр під статичний рівень верхнього водоносного горизонту у нерозчленованих середньо-верхньочетвертинних еолово-делювіальних відкладеннях. Загальний об'єм буріння дослідних кущів порід осадового чохла склав 566,1 п.м.

Для вивчення гідрогеологічних умов тріщинуватої зони кристалічних порід докембрію і продуктів їх вивітрювання були пробурені дві свердловини: розвідувальна (№ 2002) і розвідувально-експлуатаційна (№ 5Г). Загальний об'єм буріння кристалічних порід склав 590,5 п.м.

Викладення результатів досліджень.

Якісна характеристика підземних вод. У табл. 1 наводиться вміст макро- і мікрокомпонентів та інших показників у воді в порівнянні їх з нормами ГОСТу 2874-82

"Вода питьевая". Результати визначення вмісту урану і радію у воді по гідрогеологічних свердловинах Носачівського родовища приведені в табл. 2.

Таблиця 1

Вміст макро- і мікрокомпонентів та інших показників у воді в порівнянні їх з нормами ГОСТу 2874-82 "Вода питна"

Назва компонентів	Одиниця виміру	Кущ 1Г (горизонт 3)		Кущ 2Г (горизонт 6)				Кущ 4Г (горизонт 7)		Св. № 2002 (горизонт 8)		Норма мг/дм^3
Н		7,85	7,3	8,0	7,96	6,85	6,9	7,7	6.8	7,2-7,9	7,9	6,0-9,0
Сухий залишок	мг/дм^3	410,0	461,5	400,0	398,0	393	423	550,0	559	650,0	632.6	1000
Хлориди	- / / -	34,9	28,91	20,9	14,0	11,76	9,8	62,9	13,72	111,8	98,9	350
Сульфати	- / / -	65,8	39,2	16,4	20,6	25,02	40,04	75,1	56,1	44,0	51,0	500
Гідрокарбонати	- / / -	305,1	439,2	384,4	384,4	414,0	427	396,6	549	445,4	439,2	1000
Карбонати	- / / -	—	7,92	—	—	18,48	32,56	—	27,28	—	4,4	100
Нітрати	- / / -	1,2	<2,2	0,1	0,1	<2,2	<2,2	0,0	<2,2	0,0	<2,2	45
Нітрити	- / / -	0,0	<0,002	0,05	0,05	<0,002	<0,002	0,0	<0,002	0,01	<0,002	0,1
Залізо	- / / -	0,1	0,81	0,0	0,0	0,73	1,12	0,1	0,16	<0,2	<0,1	0,3
Кальцій	- / / -	72,1	94,0	96,2	96,2	88,0	88,0	86,2	100	20,0	11,6	200
Магній	- / / -	26,7	23,3	15,8	14,6	19,45	19,45	18,2	21,88	10,9	9,5	100
Натрій	- / / -	38,1	55,5	33,4	33,0	41,2	52,5	95,5	93,5	205,0	242,0	200
Загальна жорсткість	мг-екв/дм^3	5,8	6,62	6,1	6,0	6,0	6,0	5,8	6,8	1,9	–	7,0
Мідь	мг/дм	0,0006	–	0,002	0,0008	–	–	0,0008	–	–	–	–
Молібден	- / / -	0,004	–	0,0006	0,0006	–	–	0,008	–	0,000	–	–
Марганець	- / / -	0,012	–	0,2	0,12	–	–	0,0016	–	0,02	–	–
Колі індекс	- / / -	< 3	–	< 4	–	–	–	< 3	–	< 3	–	< 3
Число колоній	в 1 мл^3	45	–	60	—	–	–	30	–	–	–	100
Мінералізація	г/дм^3	0,54	0,68	0,57	0,57	0,60	0,64	0,74	0,834	0,84	0,85	1
Окислюваність	мг O_2/дм^3	0,5	4,08	0,08	0,07	2,24	3,92	0,45	2,08	3,9	3,9	–

Таблиця 2

Результати визначення вмісту урану і радію у воді у с. Носачів

Найменування	Номер проби	Номер свердловини	Фактичний вміст радіонуклідів	
			(природна суміш ізотопів), г/дм^3	Ra^{226} г/дм
Підземна вода	84	2002	1.0×10^{-7}	$< 1\times10^{-12}$
-II-	114	1Г	2.8×10^{-6}	1×10^{-12}
-II-	107	2Г	6.8×10^{-8}	$< 1\times10^{-12}$
-II-	104	2Г	3.5×10^{-8}	$< 1\times10^{-12}$
-II-	111	4Г	1.2×10^{-6}	1×10^{-12}

Рівні допустимого вмісту у воді радіонуклідів по НРБУ-97 (природна суміш ізотопів) складають -8.0×10^{-5} г/дм^3 , а вміст Ra^{226} – 2.7×10^{-11} г/дм^3.

Висновок – вміст природних радіонуклідів урану і радію не перевищує рівні за НРБУ-97.

Характеристика агресивності підземних вод.

1. *Агресивність по відношенню до бетону*. Агресивні властивості підземних вод по відношенню до бетону визначаються по інтенсивності карбонатної агресії, яка вираховується за формулою:

$$J = a^2 / 0.36 \times B \times a,$$

де а – кількість CO_2 у дослідній воді, мг/дм ;

В – кількість HCO_3 (мг/дм^3).

При J < 1 – вода слабоагресивна, але, в основному, практично безпечна. при J > I – вода агресивна.

За даними лабораторних визначень, відібрані проби води у водоносних горизонтах містять агресивну вуглекислоту.

Сульфатною агресією не володіють. Так, по Лаптєву Ф. Ф., води вважаються агресивними, коли вміст сульфатів більше 800 мг/л. У водах Носачівського родовища вміст сульфатів не перевищує 264 мг/л. Водневий показник вод родовища знаходиться у межах 7,12–8,0. Вода слаболужна. Отже, загально-кислотна агресія відсутня.

На відсутність магнезіальної агресивності вказує низький вміст у водах магнію (10,9–65,7 мг/л), що набагато менше вмісту, при якому вода вважається агресивною (2000 мг/л).

2. *Агресивність води по відношенню до металу*. Агресивність підземних вод по відношенню до металу оцінюється за коефіцієнтом корозії, який розраховується за формулою Стеблера:

$$К_к = 1{,}008 \times (rMg — rHCO_3),$$

де r Mg – вміст Mg (мг-екв), $rHCO_3$ – вміст HCO_3 (мг-екв).

Розрізнюють води:

- некорозійні, якщо $К_к + 1{,}008\ rCa < 0$;
- напівкорозійні, якщо $К_к < 0{,}40$; $К_к + 1{,}008\ rCa > 0$;
- корозійні, якщо Кк > 0.

Після розрахунків з'ясовано, що води у с. Носачів по відношенню до металу напівкорозійні та некорозійні.

Висновки. В обводненні вертикальних шахтних стволів родовища будуть приймати участь водоносні горизонти середньочетвертинних водольодовикових і озерних відкладів прохідних долин, полтавських, харківських, бучацьких та смілянських відкладів і води тріщинуватої зони кристалічних порід докембрію і продуктів їх вивітрювання.

За складністю гідрогеологічних умов Носачівське родовище за гідрогеологічною класифікацією, розробленою П. П. Кліментовим, відноситься до IV типу "Родовища в тріщинуватих скальних породах, перекритих пухкими утвореннями".

Підземні води відповідають вимогам ГОСТу 2874-82 "Вода питна", крім водоносного комплексу флювіогляціальних водольодовикових і бучацьких відкладень, де збільшений вміст заліза (0,81–1,12 мг/дм^3) при нормі – 0,3 мг/дм^3, та еолово-делювіальних відкладень (мінералізація– 1,3 г/дм^3 при нормі – 1 г/дм^3; вмісту нітратів – 103,6 мг/дм^3 при нормі – 45 мг/дм^3; за величиною жорсткості 20,7 мг-екв/дм^3 при нормі – 7,0 мг-екв/дм^3).

Води по відношенню агресивності до бетону є не агресивні, по відношенню агресивності до металу є напівкорозійні та некорозійні.

Список використаних джерел:

1. Носачівське родовище. Державна служба геології та надр України (https://www.geo.gov.ua/wp-content/uploads/2021/09/nosachivske-rodovyshche.pdf).

2. Кривдік С. Г., Гуравський Т. В., Дубина О. В., Братчук О. М., Мархай О. І., Нечаєнко О. М., Якубенко П .Ф. Особливості речовинного складу Носачівського апатит-ільменітового родовища (Корсунь-Новомиргородський плутон, Український щит). Мінералогічний журнал. 2009. 31, № 3. С. 55-78.

References

Kryvdik, S., Huravskyi, T., Dubyna, O., Bratchuk, O., Markhay, O., Nechaienko, O., & Yakubenko, P. (2009). Features of the chemical composition of the Nosachivske apatite-ilmenite deposit (Korsun-Novomyrhorod pluton, Ukrainian Shield) [in Ukrainian]. *Mineralogical Journal*, 31(3), 55–78.

State Service of Geology and Subsoil of Ukraine. (2021). *Nosachivske deposit* [in Ukrainian]. https://www.geo.gov.ua/wp-content/uploads/2021/09/nosachivske-rodovyshche.pdf

УДК 553.048

ПЕРСПЕКТИВИ ГЕОЛОГОРОЗВІДУВАЛЬНИХ РОБІТ НА НАФТУ І ГАЗ В АСПЕКТІ ЗМІН В КЛАСИФІКАЦІЇ ЗАПАСІВ ТА РЕСУРСІВ КОРИСНИХ КОПАЛИН

Паюк С.О., *golova@dkz.gov.ua;* ***Соболь В.В.,*** *к. геол. н., vasyl.sobol@dkz.gov.ua;*
Міщенко Л.О., *l.mish@dkz.gov.ua;* ***Гоцинець О.В.,*** *vassanova@dkz.gov.ua;*
Сімаченко Г.В., *simachenko_ganna@ukr.net,*
Державна комісія України по запасах корисних копалин, Київ, Україна

Розглянуто стан запасів газу природного та нафти з метою формування фонду об'єктів для проведення геологорозвідувальних робіт. Відзначено нові критерії та підходи віднесення обсягів вуглеводнів до попередньо розвіданих запасів та ресурсів вуглеводнів у зв'язку зі змінами, внесеними до Класифікації.

Ключові слова: запаси, ресурси, геологорозвідувальні роботи, Класифікація.

PROSPECTS FOR OIL AND GAS EXPLORATION CONSIDERING AMENDMENTS TO THE CLASSIFICATION OF MINERAL RESERVES AND RESOURCES

Paiuk S., *golova@dkz.gov.ua;* ***Sobol V.,*** *PhD (Geol.), vasyl.sobol@dkz.gov.ua;*
Mishchenko L., *l.mish@dkz.gov.ua;* ***Hotsynets O.,*** *vassanova@dkz.gov.ua;*
Simachenko H., *simachenko_ganna@ukr.net,*
State Commission of Ukraine on Mineral Resources, Kyiv, Ukraine

The current status of natural gas and oil reserves has been analyzed to compile a portfolio of sites for geological exploration. New criteria and approaches to classifying hydrocarbon quantities as previously explored reserves and resources have been outlined due to amendments introduced to the Classification.

Keywords: reserves, resources, geological exploration, Classification.

Вступ. В даний час особливо гострих викликів для держави надзвичайно важливим є нарощування обсягів видобутку вуглеводнів. Водночас, для підтримання та нарощування обсягів видобутку постає питання ресурсної бази, проведення геологорозвідувальних робіт (ГРР) та формування фонду об'єктів для проведення пошуково-розвідувальних робіт.

Основою процесу геологорозвідувальних робіт на нафту і газ є підрахунок та облік ресурсів та попередньо розвіданих запасів вуглеводнів відповідно до рівня їх економічної ефективності, геологічної будови родовища (покладу), достовірності визначених параметрів, підготовленості до їх освоєння, на чому, власне, ґрунтується Класифікація запасів і ресурсів корисних копалин.

Згідно з Класифікацією запасів і ресурсів корисних копалин державного фонду надр, затвердженою постановою Кабінету Міністрів України від 5 травня 1997 р. № 432, із змінами і доповненнями (далі – Класифікація) [1], попередньо розвідані запаси є основою для обґрунтування подальшої розвідки чи дослідно-промислової розробки родовища (покладу); перспективні ресурси є основою для геолого-економічної оцінки доцільності проведення пошуково-розвідувальних робіт.

Виклад основного матеріалу. За ступенем геологічної вивченості запаси вуглеводнів поділяються на розвідані та попередньо розвідані [1].

Розвідані запаси – це обсяги вуглеводнів, кількість, якість, технологічні властивості, гірничо-геологічні, гідрогеологічні та інші умови залягання яких вивчені з повнотою, достатньою для складання проєктів з видобування і будівництва об'єктів з переробки вуглеводнів. Розвідані запаси є основою для проєктування і проведення розробки родовища (покладу).

Попередньо розвідані запаси – це запаси вуглеводнів, кількість, якість, технологічні властивості, гірничо-геологічні та інші умови залягання яких вивчені з повнотою, достатньою для визначення промислового значення родовища (покладу). Попередньо розвідані запаси вуглеводнів є основою для обґрунтування подальшої розвідки чи дослідно-промислової розробки родовища (покладу).

За ступенем геологічного вивчення і достовірності ресурси вуглеводнів поділяються на перспективні та прогнозні.

Перспективні ресурси – це кількість вуглеводнів, оцінених за результатами геологічного, геофізичного, геохімічного та іншого вивчення ділянок у межах продуктивних площ з відомими родовищами. Перспективні ресурси є основою для проведення пошуків і пошуково-розвідувальних робіт.

Прогнозні ресурси – це кількість вуглеводнів, що враховує потенційну можливість формування родовищ. Кількісна оцінка прогнозних ресурсів проводиться на основі припущених параметрів за аналогією з продуктивними площами, де є відкриті родовища. Прогнозні ресурси вуглеводнів є основою для обґрунтування регіональних та прогнозно-геологічних робіт.

Станом на 01.01.2025 р. Державним балансом корисних копалин України обліковано майже 1 трлн 49 млрд $м^3$ газу природного (табл. 1) [2]. З них попередньо розвіданих – понад 481 млрд $м^3$ (що становить майже 46 % від загальних запасів), як за кодами класів 122+222 (понад 227 млрд $м^3$), так і з невизначеним промисловим значенням за кодом класу 332 (понад 254 млрд $м^3$).

Таблиця 1

Запаси газу природного, обліковані у Державному балансі корисних копалин України станом на 01.01.2025 р.

Запаси газу природного, млн $м^3$					
розвідані			попередньо розвідані		
код класу					
111	121	221	122	222	332
292 620	148 613	126 159			
			187 921	39 246	254 398
567 392			*481 565*		
1 048 957					

Загальні запаси нафти, обліковані Державним балансом корисних копалин України – майже 1 млрд 190 млн т (табл. 2). З них попередньо розвіданих – понад 413 млн т (що становить майже 35 % від загальних запасів), як за кодами класів 122+222 (майже 190 млн т), так і з невизначеним промисловим значенням за кодом класу 332 (понад 223 млн т).

Таблиця 2

Запаси нафти, обліковані у Державному балансі корисних копалин України станом на 01.01.2025 р.

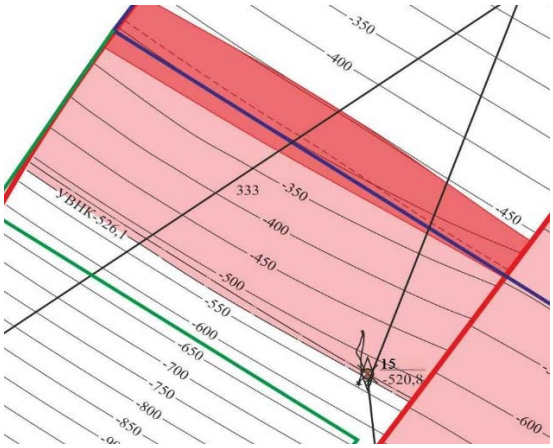
Запаси нафти, тис. т					
розвідані			попередньо розвідані		
код класу					
111	121	221	122	222	332
37493	3497	734957			
			33 986	156 010	223 138
775 947			*413 134*		
1 189 081					

Як видно з наведених таблиць, обсяги нафти та газу природного для проведення геологорозвідувальних робіт є досить значними. Але важливо відзначити, що у зв'язку зі змінами, внесеними до Класифікації, віднесення обсягів вуглеводнів до попередньо розвіданих запасів і ресурсів набули нових критеріїв та підходів.

Починаючи з 2022 р. при підрахунку запасів вуглеводнів застосовуються нові методичні підходи до класифікації запасів вуглеводнів, які раніше відносились до попередньо розвіданих з невизначеним промисловим значенням класу до 332 [3], оскільки

Методичні рекомендації в окремих аспектах не узгоджуються з Інструкцією і Класифікацією та потребують доопрацювання, у тому числі в частині геолого-економічної оцінки попередньо розвіданих запасів з невизначеним промисловим значенням коду класу 332.

У випадку, коли поклад виділяється лише за результатами геофізичних досліджень свердловин (далі – ГДС), тобто випробування цього об'єкту не проводилося або за технічними причинами у свердловині припливу вуглеводнів не отримано і на цьому етапі відсутня можливість встановити його тип – обсяги вуглеводнів у межах умовних контурів УГВК, УВНК або ГВК, ВНК відносяться до перспективних ресурсів класу 333 (рис. 1). Даний прогнозний поклад з перспективними ресурсами, виділений за результатами буріння свердловини, є об'єктом подальших геологорозвідувальних робіт для відкриття продуктивного покладу, встановлення типу вуглеводнів, проведення досліджень, підрахунку запасів вуглеводнів та визначення його промислового значення.

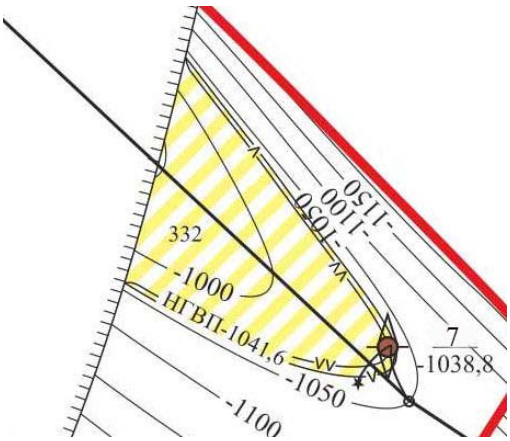


Глибина		Абс. відмітка		Товщина		Коефіцієнти		Літологія	Характер насичення
покрівлі	підошви	покрівлі	підошви	загальна	ефективна	пористості	нафтогазо-насичення		
1175,5	1180,8	-520,8	-526,1	5,3	3,8	0,111	0,68	пісковик	нафтонас.

Рис. 1. Віднесення обсягів вуглеводнів до перспективних ресурсів

У випадку, коли при випробуванні в свердловині отримано непромисловий приплив вуглеводнів, здійснення розрахунку показників розробки та економічних показників є неможливим – запаси у межах нижньої границі встановленої продуктивності (НГВП) або ГВК, ВНК відносяться до попередньо розвіданих з невизначеним промисловим значенням класу 332 (рис. 2). Дані поклади можуть бути об'єктом подальших геологорозвідувальних робіт з метою уточнення геологічної будови покладу, встановлення ділянок з покращеними фільтраційно-ємнісними властивостями, уточнення підрахункових параметрів покладу, застосування новітніх технологій інтенсифікації припливу вуглеводнів, тощо. В разі отримання промислового припливу вуглеводнів – визначається промислове значення покладу.

В розглянутих вище випадках наведено варіанти стадії дорозвідки родовищ (покладів). Дорозвідку родовищ виконують у недостатньо вивчених їх частинах (як варіанти – нерозбурених ділянок, нижче- чи вищезалягаючих горизонтів, відокремлених ділянок чи блоків) послідовно, згідно з планами проведення розвідувальних робіт. По кожній розвідувальній свердловині проводиться комплекс досліджень з метою накопичення даних для підрахунку запасів: детальне вивчення керна, комплекс геофізичних досліджень, комплекс газогідродинамічних досліджень, пробна експлуатація продуктивних свердловин, дослідно-промислова розробка.



Інтервал залягання, м глибина абс. відмітка		Інтервал випробування, м глибина абс. відмітка		Товщина		Коефіцієнти		Літологія	Характер насичення	Дебіт нафти, т/добу
покрівлі	підошви	покрівлі	підошви	загальна	ефективна	пористості	нафтогазонасичення			
1770,5 -1038,8	1773,4 -1041,6	1751,0 -1019,3	1773,0 -1041,2	2,9	2,9	0,114	0,75	пісковик	нафтонас.	0,6-0,7

Рис. 2. Віднесення обсягів вуглеводнів до попередньо розвіданих з невизначеним промисловим значенням класу 332

Наступний випадок, коли застосовуються нові методичні підходи до Класифікації запасів вуглеводнів – поклад випробувано в окремій свердловині, отримано промисловий приплив вуглеводнів, встановлено його тип та визначена подальша розробка, тобто виконано техніко-економічні розрахунки для залучення запасів в розробку.

Якщо при випробуванні в окремій свердловині розробка запасів вуглеводнів згідно з техніко-економічними розрахунками економічно доцільна – запаси відносять до попередньо розвіданих класів 122+222 (рис. 3).

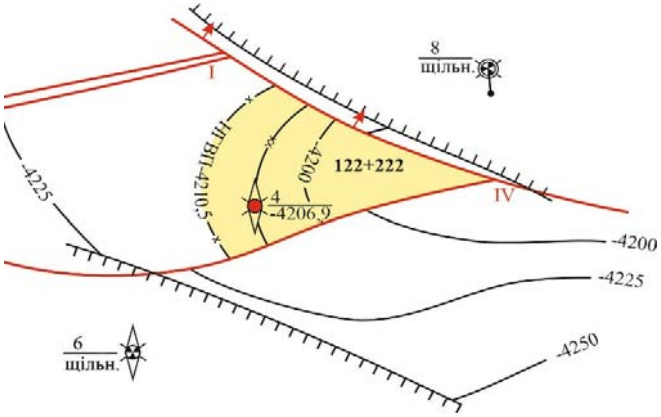


Рис. 3. Варіанти віднесення обсягів вуглеводнівдо попередньо розвіданих класів 122+222

Зазначені запаси вуглеводнів також можуть бути об’єктом подальших геологорозвідувальних робіт, за якими, в цьому випадку, будуть уточнені дані щодо морфології, внутрішньої будови, умов залягання і розробки покладів вуглеводнів за результатами буріння додаткових розвідувальних свердловин та їх експлуатації, за результатами досліджень будуть уточнені кількісні та якісні показники покладів.

Відповідно до Правил розробки нафтових і газових родовищ (розділ ІІІ. «Підготовка родовищ нафти і газу до розробки та їх класифікація»), метою розвідувальних робіт є встановлення і оцінка розвіданих запасів вуглеводнів у кількості, необхідній для промислової розробки, визначення всіх параметрів для складання проєкту промислової розробки, а також дорозвідка недостатньо вивчених ділянок (блоків) родовищ, що

перебувають у розробці. У цьому випадку геологорозвідувальні роботи мають характер оцінки і підготовки родовищ (покладів) до розробки.

У випадку, коли розробка запасів вуглеводнів згідно з техніко-економічними розрахунками економічно недоцільна – запаси, згідно з Класифікацією, відносять до позабалансових класу 222. Але, за умови зростання цін на вуглеводні або освоєння новітніх технологій, видобування таких запасів може стати рентабельним, запаси можуть стати об'єктом промислового значення.

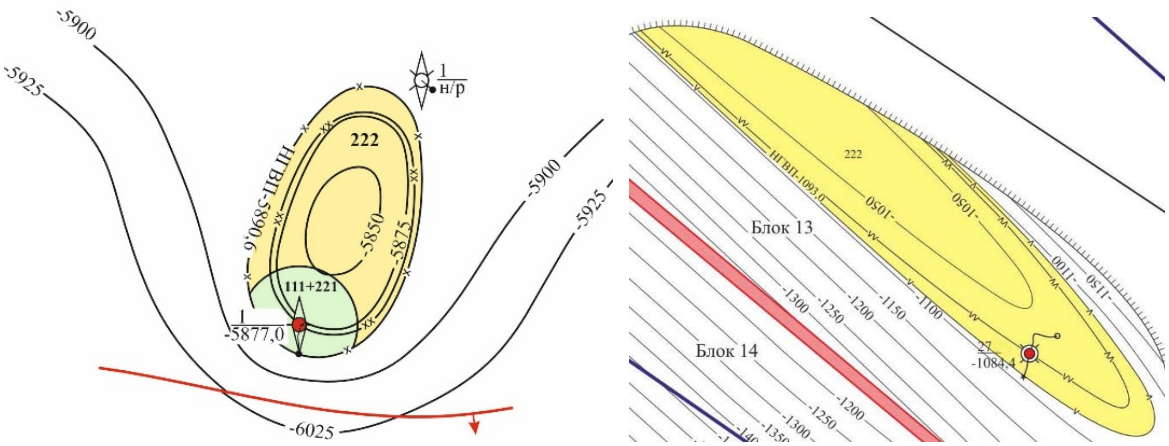


Рис. 4. Варіанти віднесення обсягів вуглеводнів до попередньо розвіданих позабалансових класу 222

Висновок. Таким чином, об'єктами для проведення геологорозвідувальних робіт є попередньо розвідані запаси корисних копалин та перспективні ресурси. За результатами проведеної дорозвідки родовищ (покладів) здійснюється переведення ресурсів та попередньо розвіданих запасів у розвідані, проводиться підрахунок та облік виявлених запасів.

Список використаних джерел:

1. Постанова Кабінету Міністрів України від 05.05.1997 № 432 "Про затвердження Класифікації запасів і ресурсів корисних копалин державного фонду надр" [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/432-97-%D0%BF#Text.

2. Державний баланс запасів корисних копалин України. Газ природний. Випуск 23 – Київ, ДНВП "Геоінформ України" – 2024.

3. Паюк С.О., Сімаченко Г.В., Гоцинець О.В. (2025). Потенціал запасів газу природного з невизначеним промисловим значенням для нарощування ресурсної бази газовидобутку. В / *X міжнародної науково-практичної конференції «Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування»* (с. 328-333). Державна комісія України по запасах корисних копалин (ДКЗ). К.: ДКЗ.

МЕТОДИКА І ПРАКТИКА ГЕОЛОГО-ЕКОНОМІЧНОЇ ОЦІНКИ РОДОВИЩ КОРИСНИХ КОПАЛИН ЗА РІЗНИМИ КЛАСИФІКАЦІЙНИМИ СИСТЕМАМИ



УДК 550.8.05:519.25

СТАНДАРТНІ ПІДХОДИ ДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ (QA/QC) ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ ДЛЯ ВЕРИФІКАЦІЇ ІСТОРИЧНИХ ГЕОЛОГІЧНИХ ДАНИХ

Сафронова Н.Г.[1]*, safronovan@softmine.com.ua;*
Баряцька Н.В.[1]*, д. геол. н., bariatskan@softmine.com.ua;*
Сергеєва С.В.[2]*, sergeieva.svitlana@gmail.com;*
1 – ТОВ «Софтмайн», м. Київ, Україна,
2 – ТОВ «Геологічна сервісна компанія», м. Київ, Україна

У статті розглянуто сучасні підходи до забезпечення та контролю якості геологічних і лабораторно-аналітичних даних (QA/QC) та можливості їх застосування для верифікації історичних геологічних даних. Охарактеризовано основні типи контрольних проб. Розглянуто особливості контролю якості, що застосовувався під час історичних геологорозвідувальних робіт. Запропоновано підхід до зіставлення традиційних процедур контролю з міжнародними QA/QC-програмами. Показано, що окремі історичні процедури за своїм функціональним призначенням можуть бути співвіднесені із міжнародними практиками QA/QC.

Ключові слова: контроль якості (QC), процедури забезпечення якості (QA), контрольні проби.

STANDARD QUALITY ASSURANCE AND QUALITY CONTROL (QA/QC) APPROACHES AND THEIR APPLICATION TO HISTORICAL GEOLOGICAL DATA VERIFICATION

Safronova N.[1]*, safronovan@softmine.com.ua;*
Bariatska N.[1]*, Dr. Sci. (Geol.), bariatskan@softmine.com.ua;*
Sergeieva S.[2]*, sergeieva.svitlana@gmail.com;*
1 – Softmine LLC, Kyiv, Ukraine,
2 – Geological Service Company LLC, Kyiv, Ukraine

The paper considers modern approaches to quality assurance and quality control (QA/QC) of geological and laboratory analytical data and their application to the verification of historical geological data. The main types of control samples are characterized. The specific quality control practices applied during historical geological exploration are examined. An approach is proposed for correlating traditional quality control procedures with international QA/QC programs. It is demonstrated that certain historical procedures, based on their functional purpose, can be correlated with international QA/QC practices.

Keywords: Quality Assurance (QA), Quality Control (QC), control samples.

Вступ. Програми забезпечення та контролю якості (QA/QC) є невід'ємною складовою сучасних геологорозвідувальних робіт і спрямовані на забезпечення якості, надійності та достовірності геологічних даних, що використовуються для оцінки мінеральних ресурсів і запасів.

Це набуло критичного значення на тлі низки інвестиційних скандалів 1990-х років, пов'язаних із недостовірними або неналежно підтвердженими даними, що лежали в основі оцінки родовищ. Одним із найбільш відомих став скандал навколо родовища золота Busang в Індонезії, пов'язаний з компанією Bre-X Minerals у 1997 році, коли незалежна перевірка виявила фальсифікацію результатів опробування.

На тлі цих подій розвиваються стандарти публічної звітності про результати геологорозвідки, мінеральні ресурси та запаси: JORC Code (Australasian Code for Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Ore Reserves) - 1989р., PERC Reporting Standard (Pan-European Standard for Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Reserves) - 1991р., NI 43-101 (National Instrument 43-101 Standards of Disclosure for Mineral Projects) - 2001р. та інші. Такі документи підвищують прозорість і достовірність оцінок та класифікацій для інвесторів та фондових ринків, встановлюючи вимоги до публічного розкриття інформації, включаючи QA/QC (таблиця 1).

Таблиця 1

Вимоги до розкриття інформації щодо QA/QC геологічних даних відповідно до основних міжнародних стандартів і кодексів

Документ	Розділ / пункт	Вимоги до звітності щодо QA/QC
CRIRSCO International Reporting Template [6]	Таблиця 1 п. 3.5-3.6	Розгляд організації та контролю опробування, збереження проб і ланцюга їх передачі, внутрішніх та зовнішніх процедур QA/QC, а також процесу та періодичності аудиту і виявлених суттєвих ризиків
JORC Code [4]	Таблиця 1, розділ 1	Фокусується на якості первинного збору геологічних даних та процедурах QA/QC: пробопідготовці та відбору проб, якості аналітичних даних та лабораторних випробувань (застосування стандартів, холостих проб, дублікатів), оцінці/веритифікації даних
NI 43-101 [7]	Форма 43-101F1, пункт 11	Короткий огляд характеру, обсягу та результатів застосованих процедур контролю якості, а також заходів із забезпечення якості, та їх результатів
PERC Reporting Standard [8]	Таблиця 1 пункт 3.5-3.6	Розкриття інформації щодо заходів та процедур QA/QC польових та лабораторно-аналітичних даних, використання дублікатів, холостих проб, стандартних зразків, аудитів процесів, незалежних лабораторій та перевірку цілісності бази даних. Передбачає розгляд суттєвих ризиків чи недоліків, виявлених під час перевірок
CIM Mineral Exploration Best Practice Guidelines [5]	Розділи 2.7.3 та 2.7.4	Огляд QA/QC-програми, контроль точності та прецизійності, передбачає використання холостих проб, сертифікованих стандартних зразків, дублікатів, та періодичних аудитів лабораторії; також передбачає перевірку даних перед внесенням до БД. Включає обов'язкове завірення первинної документації, зіставлення електронних записів із оригінальними лабораторними сертифікатами та перевірку даних компетентною особою

Типи контрольних проб та їхні функції. Система QA/QC використовує багато типів контрольних проб, що забезпечує інформацію про якість кожного етапу лабораторних випробувань. Процедури контролю якості необхідні для відстеження забруднення (contamination), достовірності (precision), точності (accuracy) та систематичної похибки (bias) із використанням різних типів контрольних проб [3]. Сучасна система QA/QC базується на чіткому регламенті для кожного типу контрольних матеріалів (Табл. 2).

Склад і частота введення контрольних проб у програмі QA/QC не є універсальними та визначаються специфікою родовища, методами опробування й аналітичними процедурами, а також вимогами до достовірності результатів. Якщо результати контролю перших партій проб демонструють стабільну якість процесу, частота введення окремих типів контрольних проб у наступних партіях може бути скоригована.

Контрольні матеріали мають інтегруватися безпосередньо у загальну послідовність рядових проб, щоб лабораторна партія містила необхідний набір контрольних проб. До нього можуть входити сертифіковані рудні стандарти (зокрема з низькими вмістами) для оцінки точності, холості проби для контролю забруднення та дублікати для оцінювання відтворюваності результатів. Важливо також забезпечувати їх репрезентативне розміщення у послідовності проб, зокрема з урахуванням розташування мінералізованих інтервалів.

За опублікованими даними дев’яти різних авторів, рекомендована кількість контрольних проб кожного типу відрізняється, тоді як їхня загальна кількість становить у середньому близько 20 % від загальної кількості рядових проб [1].

Таблиця 2

Регламент використання та критерії відповідності контрольних проб у системі QA/QC [1]

Назва контрольної проби		Короткий опис	Мета (ціль) застосування	Критерії відповідності	Метод Статис-тичної обробки
англійською	українською				
Standard / Certified Reference Material (CRM)	Стандартний зразок або стандарт	Сертифікований матеріал відомого складу з матричною відповідністю	Моніторинг якості аналізу (відтворюваності і правильності результатів виміру)	±2-3 абс. стандартних відхилень (SD) від сертифікованого значення	Діаграми Шухарта
Preparation / Field Blank (FB/PB)	Холоста проба підготовки або холоста польова проба	Не сертифікований матеріал з об'єкту досліджень, який не містить компонент, що визначається	Моніторинг можливого забруднення проб у ході пробопідготовки, аналізу	від 2-3 до 5 – нижньої межі виміру (LLD) лабораторної методики	
Coarse Blank (CB)	Холоста проба грубого матеріалу	Проба матеріалу стадії дроблення, яка не містить компонент, що визначається	Контролює можливе забруднення в процесі дроблення і розколювання	Те саме	
Certified Reference / Analytical Blank (AB)	Холоста аналітична проба	Сертифікований дотертий матеріал, який не містить компонент, що визначається	Виявлення фонового або внесеного забруднення в процесі аналізу	Те саме	
Field Duplicate (FD)	Польовий дублікат	Проба, відібрана одночасно з основною з другої половини (або чверті) керну до її дроблення	Оцінка репрезентативності проби та методики опробування	в межах 30 % відносної розбіжності	Діаграма розсіювання / графік квантиль-квантиль
Coarse Duplicate (CD)	Дублікат грубого матеріалу	Проба, відібрана із залишків дроблення основної проби (зазвичай, крупність 2 мм) перед розтиранням	Перевірка якості пробопідготовки і відтворюваності лабораторного аналізу	в межах 20 % відносної розбіжності	
Pulp / Analytical / Fine Duplicate (AD)	Аналітичний дублікат	Проба, відібрана із залишків дотертого матеріалу основної аналітичної проби (крупність 140-200 меш)	Виявлення випадкових похибок аналізу проб шляхом оцінки відтворюваності результатів виміру	в межах 10 % відносної розбіжності	
Independent / External Control, Umpire / Third-party Laboratory Control (UL)	Зовнішній контроль	Аналіз дублікатів аналітичних проб, які пройшли внутрішній контроль, незалежною лабораторією, здійснений тим же методом	Оцінювання значущості систематичної розбіжності результатів виміру основної лабораторії	використан- ня t-критерія Стьюдента	

На рис. 1 показано розподіл контрольних проб за типами у реальних програмах QA/QC та відповідні рекомендації, наведені у наукових публікаціях.

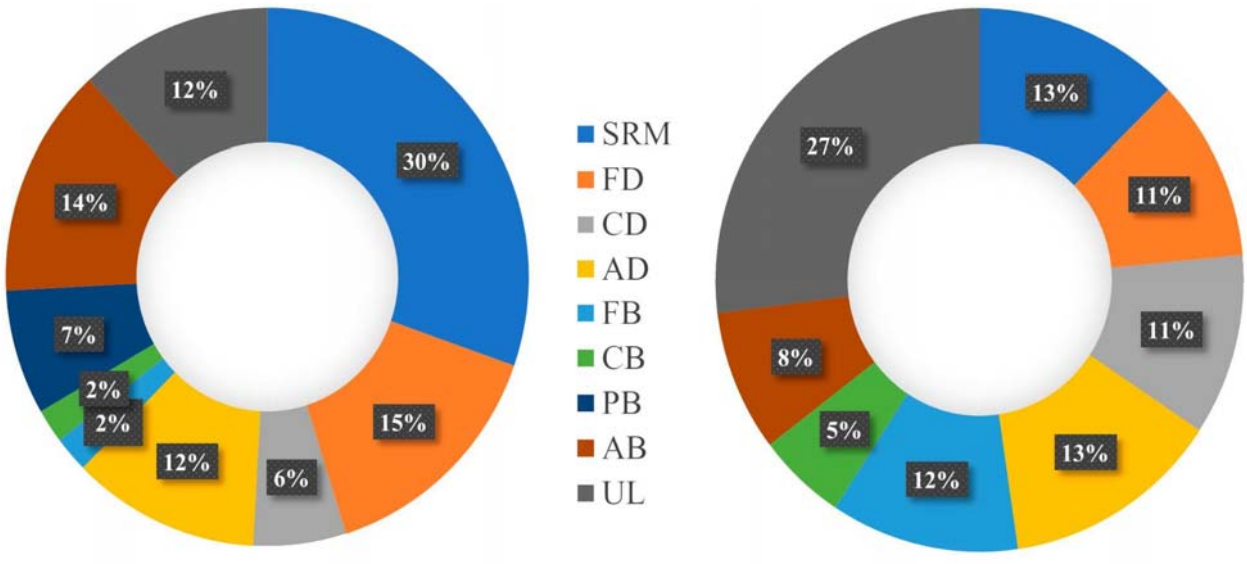


Рис. 1. Порівняння співвідношення, контрольних проб різних типів типами у реальних програмах QA/QC (а) та за даними літературних джерел (б):
SRM – сертифіковані стандарти, FD – польові дублікати, CD – дублікати грубого матеріалу, AD – аналітичні дублікати, FB – польові холості проби, CB – холості проби грубого матеріалу, PB – холості проби пробопідготовки або польові холості проби, AB – аналітичні холості проби, UL – зовнішній лабораторний контроль

У реальних програмах QA/QC серед контрольних проб переважають сертифіковані стандарти (SRM), кількість яких становить 30%, тоді як у наукових публікаціях цей показник удвічі менший і становить 13%. Натомість кількість зовнішнього лабораторного контролю (UL) за літературними даними досягає 27%, тоді як у реальних програмах становить 12%. Відмінності також спостерігаються для польових дублікатів (FD), аналітичних (AB) та польових (FB) холостих проб та дублікатів грубого матеріалу (CD). Наведені дані свідчать про дещо різний розподіл типів контрольних проб у практичних програмах QA/QC та опублікованих рекомендаціях, водночас їхня сумарна кількість у обох випадках становить близько 20% від кількості рядових проб.

QA/QC історичних даних. У радянській та пострадянській геологічній практиці стандартні (класичні) процедури QA/QC не застосовувались. Проте використовувалися такі заходи, як контроль виходу керну, буріння контрольних (ревізійних) свердловин [10] та інші відповідно до галузевих нормативних документів НСАМ, СОУ. Якість лабораторних досліджень перевірялася переважно за допомогою дублікатів проб, які повторно аналізувалися в тій самій лабораторії (внутрішній контроль) та іншій незалежній лабораторії (зовнішній контроль) [2].

Контроль якості відбору проб, підготовки, обробки та лабораторного аналізу здійснювався на всіх етапах геологічної розвідки, а кожна операція контролювалася за допомогою певного типу стандартів, дублікатів проб, що можна співвіднести з контрольними пробами, які використовуються в міжнародній геологічній практиці.

Для інтеграції історичних геологічних даних у сучасні міжнародні звіти необхідно зіставити традиційну номенклатуру контрольних проб із термінологією QA/QC. Важливо показати, на якому етапі дослідження традиційна проба набуває відповідності міжнародним стандартам. Кожна операція за такого підходу контролюється певним типом проби, перелік яких наведено в табл. 3.

Таблиця 3

Кореляція традиційних підходів та міжнародної системи QA/QC за типами проб

Контрольована операція	Назва контрольної проби		Мета контролю
	традиційна	міжнародна	
Опробування	польовий дублікат (половинка керна, борозни)	Field Duplicate	Оцінка якості методики опробування
Дроблення	дублікат (після дробарки)	Coarse Duplicate	Перевірка роботи обладнання та однорідність проб
Обробка проб (просіювання, стирання, квартування, тощо)	дублікат пробопідготовки	Coarse / Pulp Duplicate	Контроль виходу матеріалу під час пробопідготовки; перевірка якості перемішування та скорочення проб
Аналіз	аналітичний дублікат для внутрішнього контролю	Pulp / Analytical Duplicate	Збіжність та виявлення випадкових похибок
	дублікат для зовнішнього контролю	External Control/ Umpire Pulp	Виявлення систематичних розбіжностей (зсуву) лабораторії
Буріння / Опробування / Аналіз	проби з ревізійних / контрольних свердловини	Twin Holle Samples	Комплексна перевірка

Встановлення високого ступеня відповідності історичних даних стандартним практикам QA/QC дає змогу оптимізувати обсяг додаткових робіт, необхідних для їх верифікації, зокрема повторного опробування керна (re-sampling of the drill core), аналізу дублікатів проб (re-analysis of duplicate samples) та завірочного / контрольного буріння (twin hole drilling).

Висновки:

У стандартних програмах забезпечення та контролю якості (QA/QC) застосовується широкий спектр контрольних проб для перевірки різних операцій і процесів. Загальна кількість контрольних проб та співвідношення їхніх типів можуть змінюватися залежно від виду корисної копалини, складності геологічної будови, ступеня нерівномірності розподілу корисного компонента, стадії геологічного вивчення та інших факторів.

Процедури контролю радянського і пострадянського часу суттєво відрізняються від стандартних процедур QA/QC, що відповідають міжнародним стандартам звітності CRIRSCO. Це може ускладнювати верифікацію історичних даних і вимагати значних обсягів додаткових робіт з переопробування, повторних аналізів і контрольного буріння.

Для ефективної інтеграції історичних геологічних даних у міжнародну звітність традиційні типи контрольних проб доцільно зіставляти з відповідними типами проб системи QA/QC з урахуванням їх призначення, контрольованої операції та регламенту застосування.

Список використаних джерел:

1. Баряцька Н., Сергеєва С. Використання контрольних проб для забезпечення і контролю якості *(QA/QC)*. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія, №101, 2023. DOI: http://doi.org/10.17721/1728-2713.101.11

2. СОУ 73.1-41-08.00.45:2007. Стандарт Державної геологічної служби від Мінприроди України. Геологічне вивчення надр. Кількісний хімічний аналіз гірських порід, металічних та неметалічних корисних копалин. Контроль якості геологічний (чинний від 2008-04-01). Вид. офіц. Київ: Держгеонадра. 2008 р.

3. Abzalov, M.Z. (2008). Quality control of assay data: a review of procedures for measuring and monitoring precision and accuracy. Exploration and Mining Geology. 2008, 3–4 (17), 131–144.

4. Australasian Code for Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Ore Reserves. JORC Code 2012. https://jorc.org/docs/JORC_code_2012.pdf

5. CIM Mineral Exploration Best Practice Guidelines 2018 https://mrmr.cim.org/en/practice-guidelines/exploration/?utm_source=chatgpt.com

6. International Reporting Template for the Public Reporting of Exploration Targets, Exploration Results, Mineral Resources and Mineral Reserves. – Commitee for Mineral Reserves International Reporting Standards. June 2024. – 78 p. https://crirsco.com/documentation/crirsco-international-reporting-template/

7. NI 43-101 Standards of Disclosure for Mineral Projects, Form 43-101F1 Technical Report and Related Consequential Amendments https://mrmr.cim.org/media/1017/national-instrument-43-101.pdf

8. Pan European Reserves and Resources Reporting Committee (PERC) Standard for Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Mineral Reserves 2021. https://mrmr.cim.org/media/1153/perc-reporting-standard-2021.pdf

9. SEDAR+ https://sedarplus.ca

10. Sergeieva S., Bariatska N. Quality Assessment of Laboratory Tests: Traditional Approaches and Current Best Practices. XVI International Scientific Conference "Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment", Kyiv, 2022.

УДК 553.21:553.04:622.271(477.87)

ОСОБЛИВОСТІ ГЕОЛОГІЧНОЇ БУДОВИ РОДОВИЩА АНДЕЗИТІВ ТА ПОПУТНИХ КОРИСНИХ КОПАЛИН КАМ'ЯНИЦЬКЕ-2 (ЗАКАРПАТСЬКА ОБЛ.): ЧИ МОЖЛИВО ПРОВЕСТИ ДЕТАЛЬНУ ГЕОЛОГО-ЕКОНОМІЧНУ ОЦІНКУ (ГЕО-1) БЕЗ ГЕОЛОГІЧНОГО ВИВЧЕННЯ І ДОСЛІДНО-ПРОМИСЛОВОЇ РОЗРОБКИ?

Дяків В.О.*[1]*, *к. геол. н., dyakivw@yahoo.com;*
Лаба М.М.*[2]*, *tovkre2023@gmail.com,*
Удуд О.Р.*[3]*, *arudud@gmail.com,*
1 – ЛНУ імені Івана Франка; ТзОВ «Інститут «ГІРХІМПРОМ», Львів, Україна,
2 – ТОВ «КобальтумРесурсЕкспорт», с. Невицьке, Україна,
3 – ДП "Західукргеологія" НАК "Надра України", Львів, Україна

Детальний аналіз геологічної будови родовища Кам'янецьке-2, показав, по при її віднесення до першої групи за складністю – простої геологічної будови з непорушеним або слабо порушеним заляганням, витриманими кількісними і якісними параметрами покладів і нормативна вимога про те, що для його геологічного вивчення дослідно-промислова розробка передбачена лише коли застосовуються нові експериментальні технології чи корисна копалина є новим видом мінеральної сировини, дає підстави стверджувати, що без дослідно-промислової розроки провести детальну геолого-економічну оцнку (ГЕО-1) неможливо. Згідно нормативних вимог дослідно-промислова розробка передбачає видобування до 5 % попередньо підрахованих запасів для отримання надрокурестувачем достовірної геологічної, мінералогічної, петрологічної, геохімічної, гідрогеологічної, гідрохімічної інформації, відомостей про механічні, міцнісні, абразійні властивості, вибухо-технічні, гірничі, технологічні та інші параметри, необхідні для обгрунтування промислової розробки. На стадії геологічного вивчення та дослідно-промислової розробки видобута продукція цілком може бути реалізована, якщо це передбачено програмою (проєктом) із сплатою рентних та інших платежів, на стадії геологічного вивчення та дослідно-промислової розробки сама наявність видобутку ще не означає промислову розробку і це принциповий момент: ДПР може включати фактичне вилучення корисної копалини з надр, їх збагачення та підготовку до отримання готової продукції - інакше неможливо перевірити технологію видобування, фактичну якість сировини, гірничо-геологічні умови та інші природні обмеження і саме тому теза про те, що «видобувається корисна копалина, особливо буро-вибуховим методом = це вже промислова розробка» – некоректна.

Ключові слова: андезит, родовище, геолого-економічна оцінка, геологічне вивчення, дослідно-промислова розробка.

GEOLOGICAL FEATURES OF THE KAMIANYTSKE-2 ANDESITE AND ASSOCIATED MINERAL DEPOSIT (ZAKARPATTIA REGION): IS IT POSSIBLE TO CONDUCT A DETAILED GEOLOGICAL-ECONOMIC ASSESSMENT (GEO-1) WITHOUT GEOLOGICAL STUDY AND PILOT-SCALE DEVELOPMENT?

Dyakiv V.*[1]*, *Cand. Sci. (Geol.), dyakivw@yahoo.com;*
Laba M.*[2]*, *tovkre2023@gmail.com,*
Udud O.*[3]*, *, arudud@gmail.com,*
1 – Ivan Franko National University of Lviv; LLD "Institute" GIRHIMPROM ", Lviv, Ukraine,
2 – "Kobaltumresursexport" LLC, Nevytske, Ukraine,
3 – SE "Zakhidukrgeolohiya" (NAC "Nadra Ukrainy"), Lviv, Ukraine

A detailed analysis of the geological structure of the Kamianetske-2 deposit indicates that, despite its classification as a Group I deposit (characterized by a simple geological structure with undisturbed or slightly disturbed bedding and consistent quantitative and qualitative deposit parameters)—and notwithstanding the regulatory requirement that pilot-scale development for geological study is mandated only when employing new experimental technologies or dealing with a new type of mineral resource—it is impossible to conduct a detailed geological-economic assessment (GEO-1) without such pilot-scale development. In accordance with regulatory requirements, pilot-scale development entails the extraction of up to 5% of the preliminarily estimated reserves, enabling the subsoil user to obtain reliable geological, mineralogical, petrological, geochemical, hydrogeological, and hydrochemical data, as well as information regarding mechanical, strength, and abrasive properties, blasting characteristics, and mining, processing, and other parameters essential for justifying full-scale industrial development. During the stages of

geological exploration and pilot-industrial development, extracted products may well be sold—provided this is stipulated in the program (project)—subject to the payment of resource rent and other fees; the mere fact of extraction during these stages does not equate to full-scale industrial development, which is a crucial distinction. Pilot-industrial development can encompass the actual extraction of the mineral resource from the subsoil, its beneficiation, and processing into a finished product; otherwise, it would be impossible to verify the extraction technology, the actual quality of the raw material, mining-geological conditions, and other natural constraints. For this reason, the assertion that "extracting a mineral resource—especially via drilling and blasting—is tantamount to industrial development" is incorrect.

Keywords: andesite, deposit, geological-economic assessment, geological exploration, pilot-industrial development.

Вступ. 15 листопада 2023 року Держдавним комітетом з геології та використання надр, був виставлений на аукціон та при стартовій ціні понад 48 млн грн, був проданий за рекордні 75 млн грн. Спеціальний дозвіл на користування надрами родовища Кам'яницьке-2, власником якого стало ТзОВ «КобальтумРесурсЕкспорт» [1].

За результатами поредерньої геолого-економічної оцінки (ГЕО-2) корисних копалин родовища Кам'яницьке-2, протоколом Державної комісії по запасах України №5848 від 24 квітня 2025 року, у пункті. 3.8, констатується: «Визнати Кам'яницьке-2 родовище андезитів підготовленим для подальшого геологічного вивчення і проведення дослідно-промислової розробки», а пунктом 3.10, стверджується: «вважати таким, що втратив чинність протокол ДКЗ СРСР від 25.03.1983 № 9209 у зв'язку з проведенням попередньої геолого-економічної оцінки родовища і переоцінкою його запасів».

У відповідності із результатами аукціону та протоколом Державної комісії по запасах України, ТзОВ «КобальтумРесурсЕкспорт» 18 січня 2024 року отримало спеціальний дозвіл на користування надрами № 5605, який наданий з метою геологічне вивчення, у тому числі дослідно-промислова розробка, корисних копалин з подальшим видобуванням корисних копалин родовища Кам'яницьке-2. На підставі отриманого основного дозвільного документу, були розроблені і затверджені у встановленому порядку, програма та проєкт геологічного вивчення і дослідно-промислової розробки родовища Кам'яницьке-2, а також календарний план робіт.

Виконавши усі вимоги, діючи у відповідності до програми та проєкту геологічного вивчення і дослідно-промислової розробки родовища Кам'яницьке-2, а також календарного плану робіт на дослідному кар'єрі площею біля 10 га, ТзОВ «КобальтумРесурсЕкспорт», як законний надрокористувач, почало виконання робіт у відповідності з вимогами законодавства та отриманих дозвільних документів. Однак після проведення підготовчих та розкривних робіт, до надрокористувача у контролюючих та правоохоронних органів з'явились претензії стосовно того, що виконані гірничі розкриви, є не «геологічним вивченням і дослідно-промисловою розробкою», а «промисловим видобутком», але не тому, що відсутня програма чи проєкт геологічного вивчення і дослідно-промислової розробки родовища Кам'яницьке-2 чи порушена норма при цьому варіанті використання надр – видобування до 5 % від підрахованих запасів, а тому, що застосовано буро-вибуховий метод дезінтеграції та «родовище належить до першої групи за складністю – простої геологічної будови з непорушеним або слабо порушеним заляганням, витриманими кількісними і якісними параметрами покладів» і для його геологічного вивчення дослідно-промислова розробка передбачена лише коли застосовуються нові експериментальні технології чи корисна копалина є новим видом мінеральної сировини».

Не торкаючись інших аспектів претензій до ТзОВ «Кобальтумресурсекспорт» (земельні відносини, ОВД та інші), розглянемо лише ці два аспекти – особливостей «простої» геологічної будови, у тому числі витриманості товщі андезитів та петрологічно-подібних до них ефузивних порід, інтенсивності звітрілої товщі, оцінки запасів попутних корисних копалин, їх технологічних та інших властивостей, що визначають економічну вигідність вилучення з надр та чи можливо отримати достовірну геологічну, гідрогеологічну, технологічну інформацію для потреб детальної геолого-економічної оцінки (ГЕО-1) без дослідно-промислової розроби як способу геологічного вивчення.

Вважаємо, що це питання носить принциповий характер не тільки для ТзОВ «Кобальтумресурсекспорт», але й інших надрокористувачів, які були у подібній ситуації чи понційно можуть у неї потрапити.

Виклад основного матеріалу. В межах Вирголат-Гутинського вулканічного пасма, від кордону зі Словаччиною до Румунії багато років розроблялись та вичерпали свої запаси, розвідано та стоять на балансі, є перспективи виявлення нових перспективних площ на ділянках багатьох родовищ ефузивних та вулканогенно-осадових порід, у тому числі андезито-базальти, андезити, туфи та інших корисних копалин. Зокрема Закарпатській області, окрім Кам'яницького-2 родовища, наявні 20 розвіданих родовищ андезиту. Найбільш крупні родовища в області: Рокосівське, Королівське, Кіровське, Кленовецьке. Гутинське, Кам'яницьке-1, Горянське, Оріховицьке, Радванське та інші.

Відклади Вигорлат-Гутинського пасма, приуроченої до зони зчленування Внутрішніх (флішевих) Карпат та Закарпатського внутрішнього прогину. Час формування Вигорлат-Гутинських ефузивних та вулканогенно-осадових порід відповідає пізньоальпійського етапу тектоно-магматичної активізації Карпатського регіону, від аквітану до кінця сармату, характеризувався потужним кислим ігнімбритово-попеловим та андезито-базальтовим (контрастна серія) вулканізмом і відповідає часу утворення Трансильванської западини та її обрамлення, гір Апусені, Мармарош, Південних Карпат.

Петрологічно це був лужно-базальтовий вулканізм (неперервна базальт-андезит-ліпаритова серія), був ініційований субдукцією літосферних плит, яка згодом перейшла у стадію колізії (зіткнення). Цей процес відбувався на межі двох основних тектонічних елементів: Євразійської плити (її окраїни, яка занурювалася під кутом) та мікроплит Алькапа (ALCAPA або Альпи-Карпати-Паннонія) і Тисія-Дакія (фрагментів Африкано-Аравійської літосферної плити), які рухалися на північний схід. У неогені (міоцені) відбувалося поглинання (субдукція) океанічної або стоншеної континентальної кори (окраїни Євразійської плити) під насувну мікроплиту Алькапа. Це спричинило плавлення мантії та утворення субдукційної магми.

Коли ж океанічна плита повністю «пірнула», повністю занурилася в мантію, відбулося пряме зіткнення (колізія) товстих континентальних блоків та постколізійний вулканізм Вирголат Гутинського пасма. Вирголат-Гутинське пасмо сформувалася саме на пізньому етапі як субдукційно-постколізійна вулканічна дуга. Процеси відриву зануреної плити (slab detachment) та розтягнення Закарпатського прогину дозволили магмі піднятися на поверхню через систему тріщин і розломів і тому Вигорлат-Гутинське пасмо представляє собою складно побудоване покривне утворення, що сформувалось у результаті спільно діючих вулканів, які характеризувались різномасштабністю та різним віком активності.

В геологічному відношенні Вирголат-Гутинське пасмо характеризується доволі складною геологічною будовою та різноманітністю ефузивних та вулканогенно-осадових, на окремих ділянках інтрузивних порід. Геологічний розріз представлений комплексом теригенних, теригенно-туфогенних, ефузивних, вулканогенних та іноді інтрузивних утворень крейдового, палеогенового, неогенового та четвертинного віку.

Крейдові та палеогенові відклади мають переважне розповсюдження і складають нижній структурний поверх. Вони перекриваються потужним комплексом неогенових молас та ефузивних утворень Вигорлат-Гутинського пасма, які складають верхній структурний поверх. Кам'яницьке-1 та Кам'яницьке-2 родовища андезитів приурочені до відкладів верхньої частини Вигорлат-Гутинської гряди у її північно-західній частині (рис.1).

Близьке залягання до поверхні ефузивних та вулканогенно-осадових порід, зумовило те, що ці корисні копалини з давніх часів видобувалися та використовували місцеві мешканці. Зокрема у північній околиці села Кам'яниця, Ужгородського району, андезити, як сировина для виробництва високоякісного бутового каменю та щебню, розроблялися кустарним способом ще з 1880 року.

Промислова експлуатація Кам'яницького родовища розпочалася з 1904 року, а у 1932 році міністерство шляхів сполочення Чехословацької республіки, на базі його запасів побудувало невеликий каменедробильний завод. Однак детальне вивчення родовища було проведене у 1947 р. Південно-Західною комплексною експедицією "Транспроєкткар'єр".

У 1957 р. Київським філіалом "Гіпротранскар'єр" була проведена дорозвідка родовища. Були затверджені запаси андезиту за категоріями А+В+C_1.

У 1962-1964 рр., у зв'язку з реконструкцією та розширенням цементного заводу, була проведена додаткова розвідка родовища і затверджені запаси андезиту як сировини для виробництва щебеню для баластного шару залізничної колії та бутового каменю в кількості 15738 тис. м³ за категоріями В+C_1 (протокол УТКЗ від 26 березня 1964 р.).



Рис. 1. Локалізація родовищ Кам'янецьких (Кам'янецьке-1 та Кам'янецьке-2) на тектонічній карті Закарпатського прогину та Вирголат-Гутинського пасма

У 1978-1980 рр., з метою розширення сировинної бази родовища Кам'яницьке-1, партією "Гіпротранспуть" були проведені пошукові роботи на схід і захід від нього, які дали негативні результати. У 1974-1977 рр. у районі родовища Кам'яницьке-1 Нерудною партією Закарпатської геологорозвідувальної експедиції було відкрито та попередньо розвідано нове родовище андезиту Кам'яницьке-2, розташоване на північний схід від родовища Кам'яницьке-І. У 1978 р. були розпочаті роботи з його детальної розвідки як сировинної бази для Радванського кар'єроуправління (щебінь для будівельних робіт).

Детальна розвідка родовища була проведена в 1978-1983 рр. Закарпатською ГРЕ за завданням Управління Львівської залізниці з метою виявлення 15 млн м^3 андезиту в якості щебня для баластного шару залізничних шляхів. У результаті проведених робіт на родовищі

Кам’яницьке-2 були розвідані та затверджені запаси андезиту в якості сировини для виробництва щебню для баластного шару залізничних шляхів, будівельного каменю, каменю для водоборотьби та піску-відсіву станом на 01.01.1983 р. (протокол ДКЗ СРСР № 9209 від 25.03.1983 р.) за категоріями у кількості (тис. $м^3$): $A+B+C_1$ – 17 278, у т.ч. А – 3 147, В – 6 215, C_1 – 7 916 та C_2 – 8930. Родовище Кам’яницьке-2 враховано Державним балансом запасів корисних копалин України. Кількість балансових запасів андезиту станом на 01.01.2023 р. складає за категоріями у кількості (тис. $м^3$): $A+B+C_1$ – 17 278, у т.ч. А – 3 147, В – 6 215, C_1 – 7 916 та C_2 – 8930.

Слід зазначити, що родовище Кам’яницьке-2 за складністю геологічної будови, віднесено до першої групи родовищ (ділянок надр) простої геологічної будови з непорушеним або слабо порушеним заляганням, витриманими кількісними і якісними параметрами покладів основних корисних копалин, рівномірним розподілом основних корисних і шкідливих компонентів. Однак на геологічній карті та особливо розрізах бачимо іншу картину (рис. 2 і 3).

Як видно з представлених матеріалів, родовище Кам’янецьке-2 являє собою обмежений, але багатошаровий лавовий потік, складений головним чином свіжим, не тріщинуватим чи слабо тріщинуватим андезитом, потужністю від 30 до 150 м в межах ліцензійної ділянки, який у верхній частині геологічного розрізу зазвичай є у різній степені є звітрілим на глибину до 20 м, а також субгоризонтально- та моноклінально-залягаючими геологічними тілами різної потужності андезитової лавобрекчії, андезитового туфу, частково метасоматично-зміненого андезиту та інтенсивно метасоматично-зміненого андезиту.

Станом на сьогоднішній день усі ці гірські породи є потенційними корисними копалинами, як повинні бути детально вивчені на стадії ГЕО-1, підраховані їх запаси та доведена можливість їх економічно-вигідного видобування.

Крім того сама заявлена основна корисна копалина – андезит, попри те, що вміст кремнезему формально відповідає саме цій ефузивній породі, характеризується досить високим вмістом CaO (до 9,25%) та низьким вмістом суми лугів (K2O+Na2O) і за цим показником може бути не андезитом, а щонайменше андезитобазальтом (базальтовим андезитом) і очевидно, що не є постійним в усіх опробуваних інтервалах (табл.1). Саме тому, без додаткових петрографічних та петрохімічних досліджень, стверджувати, що ми маємо справу саме з андезитом, категорично не можна.

Як андезит так і особливо андезитобазальт належать до одних з найміцніших у світі гірських порід, видобування яких на початковому етапі неможливе без застосування буро-вибухових робіт. Андезитобазальт (або базальтовий андезит) за своєю міцністю посідає проміжне місце між базальтом та андезитом, упевнено входячи до групи дуже міцних і надміцних гірських порід. Його границя міцності на одновісне стиснення (UCS) зазвичай становить 200 – 350 МПа, що робить його міцнішим за більшість гранітів.

Андезитобазальт поєднує в собі найкращі механічні властивості обох порід: від базальту він успадкував високу щільність, значний вміст заліза й магнію та дрібнозернисту (іноді майже склувату) основну масу, яка «цементує» породу. А від андезиту він має трохи вищий вміст кремнезему, що додає породі в'язкості. Завдяки такому поєднанню андезитобазальт є менш крихким, ніж чистий базальт, і водночас твердішим та стійкішим до стирання, ніж чистий андезит, а це надає гірській породі неймовірних практичних переваг: через свою колосальну міцність, стійкість до морозів та низьке водопоглинання андезитобазальт є ідеальним матеріалом для екстремальних навантажень. Його масово використовують для виробництва високоміцного дорожнього щебеню (для автобанів та злітних смуг аеродромів), бдівництва залізничних насипів (як баластний шар, що витримує вагу потягів), облицювання гідротехнічних споруд (дамб, молів), де камінь має десятиліттями протистояти ударам хвиль та течії. Знову ж таки, довести, що на родовищі Кам’янецьке-2 є запаси андезитобазальту, можна лише за результатами геологічного вивчення та дослідно-промислової розробки.

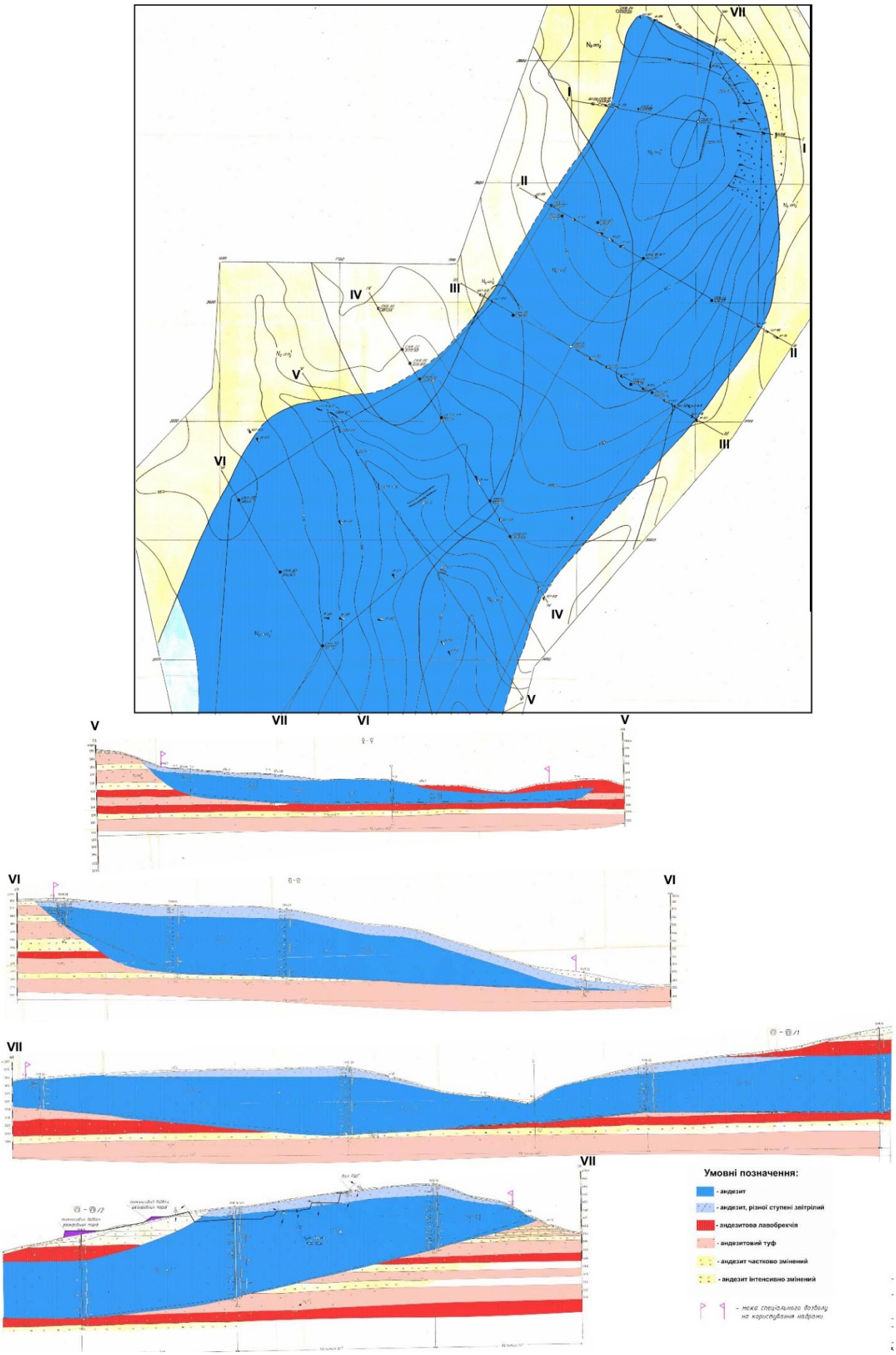


Рис. 2. Геологічна карта та розрізи V – V, VI – VI і VII-VII за даними геолого-розвідувальних робіт родовища Кам'янецьке-2 у 1978-1983 рр.

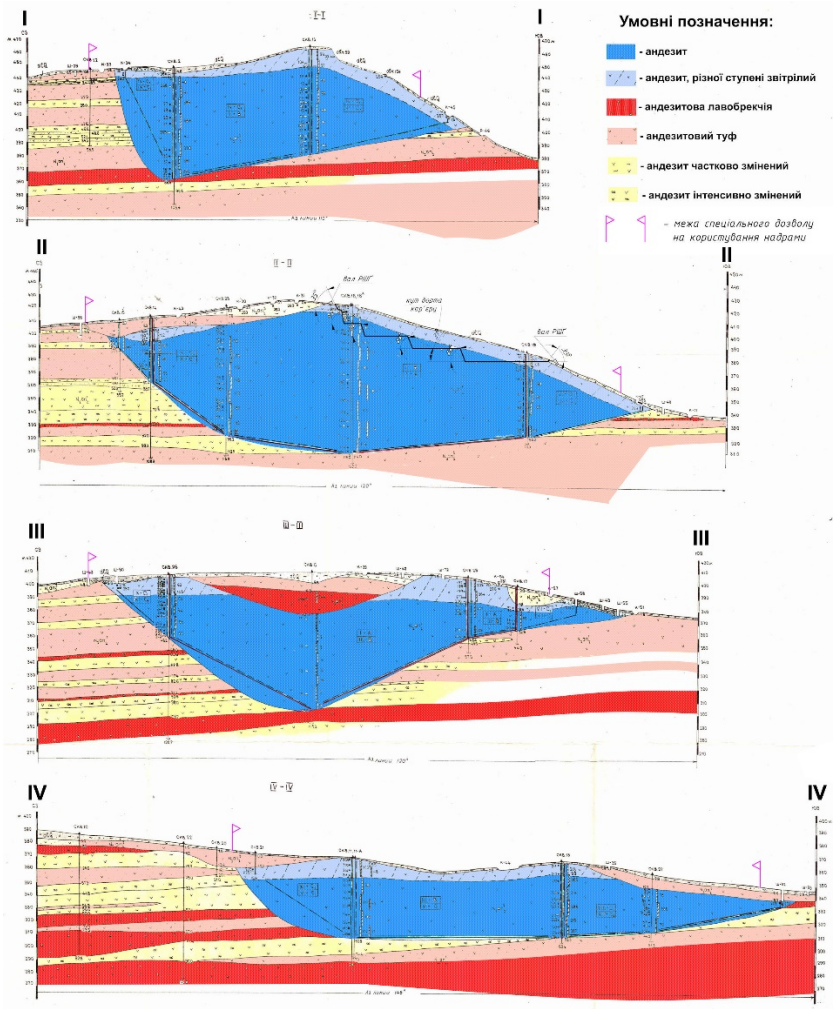


Рис. 3. Геологічні розрізи I – I, II – II, III – III та IV – IV, за даними геолого-розвідувальних робіт родовища Кам'янецьке-2 у 1978-1983 рр.

Таблиця 1

Петрохімічний склад незмінених ефузивних порід родовища Кам'янецьке-2

Компонент	Мінімальний вміст	Максимальний вміст	Середній вміст
SiO2	58,66	59,76	59,6
Al2O3	17,00	18,88	18,7
Fe2O3	5,0	5,8	5,6
K2O	1,05	1,25	1,25
Na2O	1,9	2,0	2,0
CaO	8,69	9,25	8,97
MgO	2,21	2,82	2,21
SO3	0,5	0,88	0,86
Втрати при прожарці	0,62	0,82	0,7

Метасоматично-змінені андезити (андезитобазальти чи інші ефузивні породи), взагалі потенційно можуть являти собою такий новий вид мінеральної сировини, який потребує особливо детального вивчення: від ексклюзивного виробового каміння до корисної копалини, що характеризується прийнятними сорбційними властивостями. Навіть мінімально змінені андезити можна визначати як пропілітизовані андезити чи андезитобазальти - на це чітко вказує високий вміст SO3 (до 0,88%). Така кількість сірки свідчить про те, що первинний андезит зазнав гідротермальних змін із виникненням

сульфатів (наприклад, ангідриту або гіпсу), а при подальшій гідротермальній переробці може потенційно містити багату мінералізацію пропілітів (епідот, цоїзит, хлорит, магнетит, ільменіт та інші). Приведені дані, свідчать, геологічне вивчення без дослідно-промислової розробки практично неможливе.

Висновки. На підставі проведених досліджень, можна зробити наступні висновки:

1. Детальний аналіз геологічної будови родовища Кам'янецьке-2, показав, по при її віднесення до першої групи за складністю – простої геологічної будови з непорушеним або слабо порушеним заляганням, витриманими кількісними і якісними параметрами покладів і нормативна вимога про те, що для його геологічного вивчення дослідно-промислова розробка передбачена лише коли застосовуються нові експериментальні технології чи корисна копалина є новим видом мінеральної сировини, дає підстави стверджувати, що без дослідно-промислової розроки провести детальну геолого-економічну оцнку (ГЕО-1) неможливо.

2. Згідно нормативних вимог дослідно- промислова розробка передбачає видобування до 5 % попередньо підрахованих запасів для отримання надрокурестувачем достовірної геологічної, мінералогічної, петрологічної, геохімічної, гідрогеологічної, гідрохімічної інформації, відомостей про механічні, міцнісні, абразійні властивості, вибухо-технічні, гірничі, технологічні та інші параметри, необхідні для обґрунтування промислової розробки.

3. Родовище Кам'янецьке-2 являє собою обмежений, але багатошаровий лавовий потік, складений головним чином свіжим, не тріщинуватим чи слабо тріщинуватим андезитом, потужністю від 30 до 150 м в межах ліцензійної ділянки, який у верхній частині геологічного розрізу зазвичай є у різній степені є звітрілим на глибину до 20 м, а також субгоризонтально- та моноклінально-залягаючими геологічними тілами різної потужності андезитової лавобрекчії, андезитового туфу, частково метасоматично-зміненого андезиту та інтенсивно метасоматично-зміненого андезиту – усі крім андезиту (який потенційно може бути і андезито-базальтом), являють собою нові види мінеральної сировини, потенційними попутними корисними копалинами, як повинні бути детально вивчені на стадії ГЕО-1, підраховані їх запаси та доведена можливість їх економічно-вигідного видобування.

4. Аналіз петрохімічного складу, показав, що заявлена основна корисна копалина – андезит, попри те, що вміст кремнезему формально відповідає саме цій ефузивні породі, характеризується досить високим вмістом CaO (до 9,25%) та низьким вмістом суми лугів (K2O+Na2O) і за цим показником може бути не андезитом, а щонайменше андезитобазальтом (базальтовим андезитом) і очевидно, що не є постійним в усіх опробуваних інтервалах (табл. 1). Саме тому, без додаткових петрографічних та петрохімічних досліджень, стверджувати, що ми маємо справу саме з андезитом, категорично не можна.

5. Туфи та метасоматично-змінені андезити (андезитобазальти чи інші ефузивні породи), взагалі потенційно можуть являти собою такий новий вид мінеральної сировини, який потребує особливо детального вивчення: від ексклюзивного виробового каміння до корисної копалини, що характеризується прийнятними сорбційними властивостями. Навіть мінімально змінені андезити можна визначати як пропілітизовані андезити чи андезитобазальти - на це чітко вказує високий вміст SO_3 (до 0,88%). Така кількість сірки свідчить про те, що первинний андезит зазнав гідротермальних змін із виникненням сульфатів (наприклад, ангідриту або гіпсу), а при подальшій гідротермальній переробці може потенційно містити багату мінералізацію пропілітів (епідот, цоїзит, хлорит, магнетит, ільменіт та інші). Приведені дані, свідчать, геологічне вивчення без дослідно-промислової розробки практично це унеможливлює.

6. Дослідно-промислова розробка відрізняється від промислового видобутку за такими критеріями: а) Вивчення родовища і технології видобування (на відміну від систематичного отримання товарної продукції при промисловій розробці); б) уточнення

геологічної будови, якості, потужності, мінливості корисної копалини (на етапі промислової розробки цього не робиться); в) на стадії геологічного вивчення та дослідно-промислової розробки насамперед оцінюють/уточнюють запаси, готують геологічні матеріали для їх затвердження у Державній комісії по запасах), тоді як при промисловій розробці цього не робиться; г) важливою метою дослідно-промислової розробки є випробування способу видобування та переробки, особливо за умови, коли надрокористувач має справи із однією із найміцніших, найтвердіших, найважче дизінтегрованою корисною копалиною - андезитом, що на окремих ділянках може бути андезитобазальтом і в межа з різних частин геологічного розрізу може мати діаметрально відмінні властивості; д) Найважливішими документами ГВ та ДПР є розроблені та погоджені програма та проєкт геологічного вивчення та дослідно-промислової розробки, у яких чітко визначається масштаби буріння, розкривних робіт, буро-вибухових робіт, видобування (до 5 % від підрахованих запасів), збагачення, сортування та класифікація за придатністю до різних напрямків використання (бутовий камінь, щебінь, декоративні зразки, ландшафтні брили та інших застосувань), випробовування технічних засобів (бульдозерів, екскаваторів, бурових верстатів, дробарок, навантажувачів, транспортних засобів, помпувального обладнання, трубопроводів, ЛЕП та інших технологічних пристосувань).

7. На стадії ГВ та ДПР видобута продукція цілком може бути реалізована, якщо це передбачено програмою (проєктом) із сплатою рентних та інших платежів, на стадії ГВ і ДПР сама наявність видобутку ще не означає промислову розробку і це принциповий момент: ДПР може включати фактичне вилучення корисної копалини з надр, їх збагачення та підготовку до отримання готової продукції - інакше неможливо перевірити технологію видобування, фактичну якість сировини, гірничо-геологічні умови та інші природні обмеження і саме тому теза про те, що «видобувається корисна копалина, особливо буро-вибуховим методом = це вже промислова розробка» – некоректна [1-15].

Список використаних джерел:

1. Вимоги до комплексного вивчення родовищ і підрахунку запасів супутніх корисних копалин і компонентів та відходів гірничого виробництва/ДКЗ України, Київ, 1997.
2. ДСТУ Б В.2.7-75-98 «Щебінь та гравій щільні природні для будівельних матеріа-лів, виробів, конструкцій та робіт. Технічні умови».
3. ДСТУ Б В.2.7-241:2010 «Камінь бутовий. Технічні умови».
4. ДСТУ Б В.2.7-32-95 «Пісок щільний природний для будівельних матеріалів, виро-бів, конструкцій і робіт. Технічні умови».
5. ДСТУ Б В 2.7 -241:2010 “ Камінь бутовий. Технічні умови”
6. Інструкція із застосування класифікації запасів і ресурсів корисних копалин Дер-жавного фонду до родовищ будівельного каменю. ДКЗ України. Київ. 2007
7. Класифікація запасів і ресурсів корисних копалин державного фонду надр, за-тверджена постановою Кабінету Міністрів України від 05.05.97 № 432.
8. Державна геологічна карта України масштаб 1:200 000. Карпатська серія. Ужгоро-дська група аркушів. M-34-XXV (Ужгород).
9. КНД 41-00032626-00-292-97 «Вимоги до оцінки природної радіоактивності корис-них копалин при проведенні геологорозвідувальних робіт на родовищах будівель-ної сировини».
10. Методичні рекомендації з проведення гідрогеологічних, інженерно-геологічних та еколого-геологічних досліджень у процесі розвідки родовищ твердих корисних ко-палин. Державна геологічна служба України. Київ, 2007 р.
11. Методичні вказівки щодо змісту, оформлення і порядку подання на розгляд ДКЗ матеріалів геолого-економічної оцінки родовищ металічних і неметалічних корис-них копалин.

12. Наказ №1595 від 14.07.2020 р. Про затвердження Гігієнічних регламентів допус-тимого вмісту хімічних речовин у ґрунті. МОЗ, Київ, 2020 р.

13. Наказ № 721 від 02.05.2022 р. Про затвердження Гігієнічних нормативів якості во-ди водних об’єктів для задоволення питних, господарсько-побутових та інших по-треб населення. МОЗ, Київ, 2022 р.

14. Положення про порядок розробки та обґрунтування кондицій на мінеральну сиро-вину для підрахунку запасів твердих корисних копалин у надрах. ДКЗ; Наказ, По-ложення від 07.12.2005 № 300

15. Про затвердження Положення про стадії геологорозвідувальних робіт на тверді корисні копалини. Геолком України; Наказ, Положення від 15.02.2000 № 19

УДК 550.832:550.8.05

СТВОРЕННЯ КАПІЛЯРНОЇ МОДЕЛІ ЕЛЕКТРОПРОВІДНОСТІ ПОРІД-КОЛЕКТОРІВ (ГЕОЕЛЕКТРИЧНА МОДЕЛЬ ТРЬОХ ВОД)

Кашуба Г.О.*[1]*, *hrygorii.kashuba@ugv.com.ua;*
Башкіров Г.Л.*[2]*, *heorhii.bashkirov@ugv.com.ua;*
Каралаш А.Р.*[2]*, *ORCID ID 0009-0004-9254-8141, andrii.karalash@ugv.com.ua;*
1 – АТ «Укргазвидобування», Київ, Україна,
2 – Київське відділення УкрНДІгазу АТ«Укргазвидобування», Київ, Україна

У роботі запропоновано капілярну модель електропровідності теригенних порід-колекторів, що враховує роздільний внесок трьох видів води в поровому просторі: адсорбованої води на глинистій компоненті, зв'язаної (плівкової) води на поверхні мінеральних зерен та вільної (пластової) води. Модель ґрунтується на геометричній капілярній моделі проникності, у якій поровий канал представлено циліндром сталого гідравлічного радіуса, а товщина плівки зв'язаної води визначається із застосуванням *«коефіцієнта Кашуби»* – емпіричної константи, яка визначається як добуток граничних значень відкритої пористості та коефіцієнта газонасичення для конкретних стратиграфічних відкладів. На основі узгодження геометричної (капілярної) та електричної моделей отримано математичні моделі для питомого електричного опору породи ρ_{rock}, коефіцієнта відкритої пористості $K_{p\,o}$ та коефіцієнта газонасичення K_g. Наведено результати чисельного моделювання товщини шару зв'язаної води, його питомого опору та верифікації капілярної моделі на прикладі визначення коефіцієнта газонасичення за даними геофізичних досліджень у свердловинах (ГДС).

Ключові слова: ГЕО, капіляр, електрична модель трьох вод, петрофізика, газонасичення.

DEVELOPMENT OF A CAPILLARY MODEL OF ELECTRICAL CONDUCTIVITY IN RESERVOIR ROCKS (A THREE-WATER GEOELECTRICAL MODEL)

Kashuba H.*[1]*, *hrygorii.kashuba@ugv.com.ua;*
Bashkirov H.*[2]*, *heorhii.bashkirov@ugv.com.ua;*
Karalash A.*[2]*, *ORCID ID 0009-0004-9254-8141, andrii.karalash@ugv.com.ua;*
1 – JSC«Ukrgasvydobuvannya», Kyiv, Ukraine,
2 – Kyiv Department UkrNDIgas JSC«Ukrgasvydobuvannya», Kyiv, Ukraine

The study proposes a capillary model of electrical conductivity in siliciclastic reservoir rocks that accounts separately for the contributions of three types of water within the pore space: water adsorbed on clay minerals, bound (film) water on mineral grain surfaces, and free (formation) water. The model is based on a geometric capillary model is represented by a cylinder with a constant hydraulic radius. The thickness of the bound-water film is determined using the "*Kashuba coefficient*", an empirical constant defined as the product of the threshold values of open porosity and gas saturation for specific stratigraphic units. By reconciling the geometric (capillary) and electrical models, mathematical relationships are derived for rock electrical resistivity $\rho_{rock,}$ open porosity $K_{po,}$ and gas saturation K_g. Results of numerical modeling of the thickness and electrical resistivity of the bound-water layer are represented, together with verification of the capillary model through gas saturation estimation from well-log data.

Key words: GEO, capillary, three-water electrical model, petrophysics, gas saturation.

Постановка проблеми. Традиційна інтерпретація даних електричного каротажу за формулами Арчі–Дахнова добре працює для чистих (неглинистих) колекторів, де провідність породи визначається виключно зв'язаною водою на поверхні зерен скелету породи та вільною пластовою водою в поровому просторі. Різні модифікації такого підходу базуються на моделюванні комбінацій провідності зв'язаної води на поверхні зерен скелету породи та вільної пластової води для визначення загальної провідності гірської породи та отримали назву електричної моделі двох вод. У теригенних колекторах з підвищеною глинистістю ситуація суттєво ускладнюється: частина порового простору зайнята зв'язаною водою на поверхні мінеральних зерен та адсорбованою водою на глинистих частках, електропровідність яких відрізняється від провідності вільної пластової води на порядок і більше. Ігнорування цього факту призводить до систематичних похибок при визначенні коефіцієнтів пористості та газонасичення за даними ГДС, а отже – до недостовірної оцінки запасів вуглеводнів.

Актуальність. Точність визначення коефіцієнтів пористості, глинистості та газонасичення за даними ГДС безпосередньо впливає на достовірність підрахунку запасів вуглеводнів, що подається до Державної комісії із запасів корисних копалин (ДКЗ). Для значної частини родовищ України продуктивними є саме глинисті теригенні колектори (зокрема відклади карбону), для яких класичні петрофізичні залежності потребують суттєвого уточнення. Актуальність роботи визначається необхідністю розробки геоелектричної моделі, яка: (а) базується на фізично прозорій капілярній моделі, а не лише на емпіричній кореляції; (б) використовує параметри, що реально можуть бути розраховані за стандартним комплексом лабораторних і промислово-геофізичних досліджень; (в) дозволяє визначати товщину плівки зв'язаної води, ефективну пористість, питомий електричний опір капіляра та коефіцієнт газонасичення. Це особливо важливо для об'єктів, де відсутній повний комплекс керна по досліджуваному інтервалу, і доводиться переносити параметри моделі з аналогічних за умовами формування розрізів.

Моделювання. Порода-колектор складається із матриці, що представлена зернами осадового матеріалу, пустотного простору між ними, який кількісно характеризується коефіцієнтом повної пористості (K_p) та системою капілярів, що утворюються пустотним простором (порами). Розглянемо проникність в газонасиченому колекторі, як таку, що визначається капіляром з радіусом r_n. Ілюстрація загальної моделі капіляра та його параметрів показана на рисунку 1. Продуктивна (газонасичена) порода-колектор характеризується коефіцієнтом заповнення пор та капілярів вуглеводнями і, у кількісному відношенні доля заповнення порово-капілярного простору, виражається як коефіцієнт нафтогазонасичення (K_g).

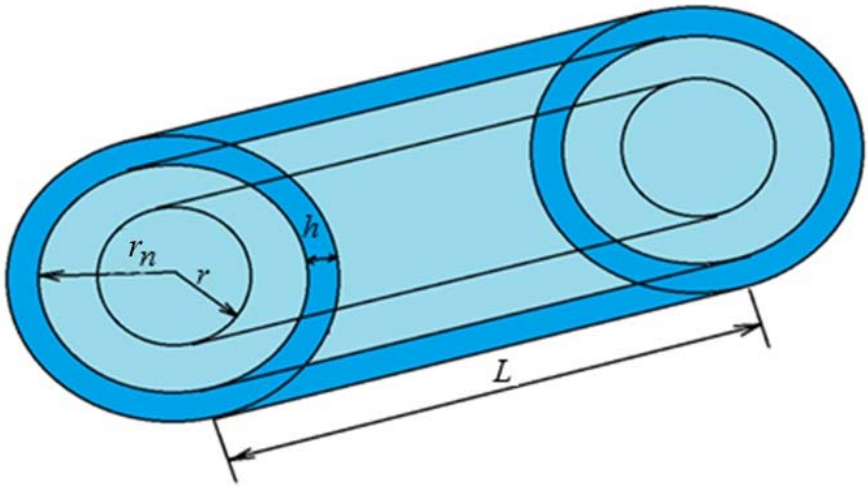


Рис. 1. Загальна модель капіляра:
L – довжина капіляра; h – товщина шару зв'язаної води (рихло- та міцнозв'язана); r_n – радіус капіляра, що утворюється порами, через який може відбуватися рух флюїду;
r – гідравлічний радіус

Із представленої моделі породи-колектора, очевидно, що її проникність, а отже практично всі геофізичні параметри (питомий електричний опір (ПЕО), інтервальний час розповсюдження поздовжньої хвилі (ΔT), інтенсивність вторинних ядерних полів і т.д.) напряму залежать від радіусу капіляра (r_n), що утворюється порами. Звичайно, що величина r_n є умовно змінною і з точки зору проникності визначається гідравлічним радіусом (r) $r = r_n/2$. Згідно з (Iheanacho et al., 2012), гідравлічний радіус r розраховується як:

$$r = \sqrt{\frac{K_{perm}}{K_{p\,ef}}}, \quad (1)$$

де K_{perm} – коефіцієнт проникності, $\cdot 10^{-15}$м^2;

$K_{p\,ef}$ – коефіцієнт ефективної пористість, ч.о.

Гідравлічний радіус, як відомо, дорівнює відношенню площі порового каналу до його периметру, а поверхню *S* (сумарну поверхню порових каналів) можна записати як один із варіантів формули Козені-Кармана, яка встановлює залежність коефіцієнта проникності від пористості та питомої поверхні:

$$S = \frac{K_{p\,ef} \cdot \sqrt{K_{p\,ef}}}{\sqrt{2 \cdot K_{perm}}}, \qquad (2)$$

Згідно проведених нами досліджень (Кашуба & Башкіров, 2024) для колекторів добуток граничних значень коефіцієнтів відкритої пористості ($K_{p\ o\ c}$) та нафтогазонасиченості ($K_{g\ c}$) є умовно постійною величиною для різних стратиграфічних відкладів (змінюється у дуже вузькому діапазоні $K_{p\ o\ c} \cdot K_{g\ c}$ =0,05 ÷ 0,055). Добуток $K_{p\ o\ c} \cdot K_{g\ c}$ при граничному насичені є не що інше як коефіцієнт ефективної пористості ($K_{p\ ef}$). Назвемо цю величину *"коефіцієнтом Кашуби"* (*k*). Використання коефіцієнту *k* (середнє значення 0,0525) дає можливість розрахувати товщину шару зв'язаної води. Таким чином знаючи граничне значення коефіцієнта відкритої пористості для колекторів певного геологічного віку, розраховується граничне значення коефіцієнта нафтогазонасичення. Згідно із запропонованою моделлю капілярної проникності, весь об'єм ефективної пористості, при граничних значеннях, заповнений вуглеводневою фазою, а отже для цього випадку можна розрахувати, приймаючи граничну проникність в $1{,}0 \cdot 10^{-15}$ м^2, питому поверхню капіляра (*S*)(2), величини гідравлічного радіусу (*r*)(1), радіусу порового капіляра ($r_n = 2 \cdot r$). Знаючи величину питомої поверхні та гідравлічного радіусу (*r*) не становить труднощів розрахувати об'єм шару зв'язаної води (V_{bw}) і довжину капіляру (*L*), що утворений порами:

$$V_{bw} = \frac{1}{8} \cdot \frac{\left(2 \cdot (1 - K_{sh}) \cdot \sqrt{\frac{K_{perm}}{K_{p\,ef}}} + h\right)^2 \cdot K_{p\,ef}^{\frac{3}{2}} \cdot \sqrt{2}}{\sqrt{K_{perm}} \cdot (1 - K_{sh}) \cdot \sqrt{\frac{K_{perm}}{K_{p\,ef}}}} - \frac{1}{2} \cdot \frac{(1 - K_{sh}) \cdot \sqrt{K_{perm}} \cdot \sqrt{K_{p\,ef}} \cdot \sqrt{2}}{\sqrt{\frac{K_{perm}}{K_{p\,ef}}}}, \qquad (3)$$

де K_{sh} – коефіцієнт глинистості, ч.о.

$$L = \frac{1}{8} \cdot \frac{K_{p\,ef}^{\frac{3}{2}} \cdot \sqrt{2}}{\sqrt{K_{perm}} \cdot \pi \cdot (1 - K_{sh}) \cdot \sqrt{\frac{K_{perm}}{K_{p\,ef}}}}, \qquad (4)$$

Отже товщина шару зв'язаної води, враховуючи запропонований алгоритм, для умов граничних параметрів колекторів визначатиметься наступним чином:

$$h = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi \cdot r^2 - V_{bw}}{\pi \cdot L}} - 2 \cdot r \qquad (5)$$

Для діапазону граничних відкритих пористостей, які фактично трапляються у теригенних колекторах, проведено чисельні розрахунки, які показали, що товщина шару зв'язаної води змінюється від 40 до 200 нм (рис. 2).

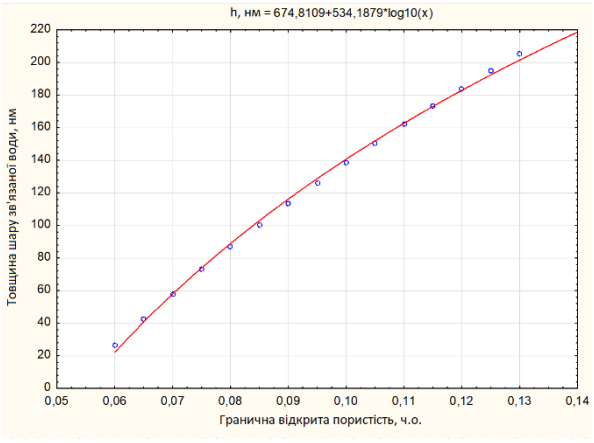


Рис. 2. Товщина шару зв'язаної води *h* залежно від величини граничної відкритої пористості $K_{p\,o\,c}$

Оскільки провідність шару зв'язаної води залежить від його товщини (через мінералізацію та структуру подвійного електричного шару на поверхні зерна), для подальших розрахунків r_n потрібна залежність осередненого питомого електричного опору зв'язаної води ρ_{bw} від товщини цього шару h, отримана за результатами лабораторних і промислово-геофізичних досліджень (рис. 3).

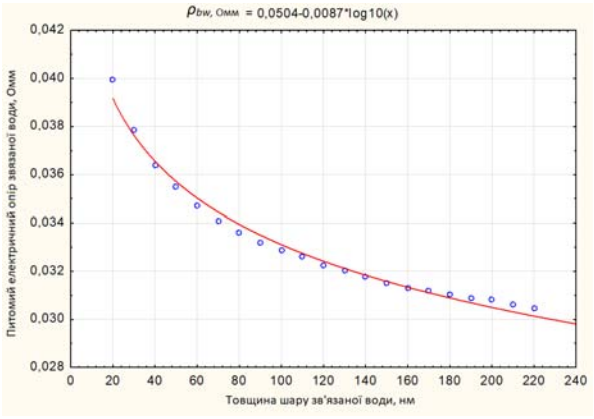


Рис. 3. Усереднений питомий електричний опір зв'язаної води ρ_{bw} залежно від товщини шару зв'язаної води *h*

На рис. 4 наведено розширену капілярну модель водонасиченого колектора з ненульовим коефіцієнтом газонасичення (вільний газ показано червоним кольором).

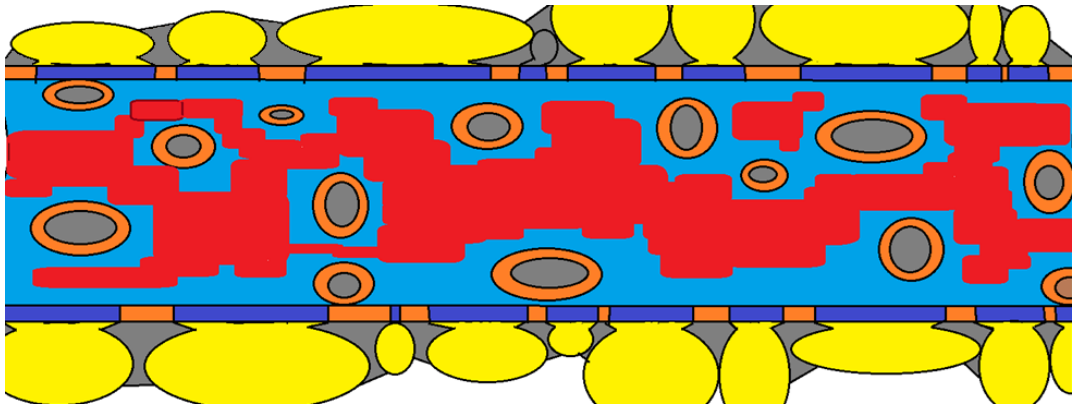


Рис. 4. Розширена капілярна модель водонасиченого колектора з ненульовим коефіцієнтом газонасичення

У запропонованій моделі капіляр являє собою циліндр сталого радіусу, але з стінками різної природи: матеріалу зерен породи та глини. На поверхні глини, що торкається до мінеральних зерен породи, відсутня тонка плівка зв'язаної води, є плівка адсорбованої води на глинистому цементі. Всередині капіляра – вільний флюїд (пластова вода і газ) та плівки адсорбованої води, які пов'язана з частинками глинистого матеріалу в поровому просторі очевидно паралельно будуть проводити струм. Таким чином, в капілярній геоелектричній моделі провідності можемо представити капіляр як три типи паралельно зв'язаних гілок:

- провідність послідовно зв'язані води (адсорбована на глині і зв'язана на поверхні зерен породи);
- провідність вільного флюїду (вільна вода, вільний газ);
- провідність адсорбованої води на поверхні дисперсних глинистих часток.

Капіляр у породі звивистий і займає частку об'єму від одиничного об'єму породи. Нехай об'ємна частка капіляра D_{cap} – це електрична пористість $K_{p\ el}$ породи. Тоді:

$$D_{cap} = K_{p\ el} \quad (6)$$

Частка скелету колектора:

$$D_{sk} = 1 - K_{p\ el} \quad (7)$$

Тут слід зауважити, що електрична пористість $K_{p\ el}$ є не що інше, як акустична пористість $K_{p\ dt}$.У породі капіляр зв'язаний паралельно з скелетом породи:

$$\frac{1}{r_n} = \frac{D_{cap}}{\rho_{cap}} + \frac{D_{sk}}{\rho_{sk}}, \quad (8)$$

де ρ_{cap} – питомий опір капіляра;

ρ_{sk} – питомий опір скелету породи.

Однак опір скелета наближається до нескінченості, тому:

$$\frac{1}{r_n} = \frac{D_{cap}}{\rho_{cap}} \quad (9)$$

або:

$$\frac{1}{r_n} = \frac{K_{p\ dt}}{\rho_{cap}}, \quad (10)$$

ρ_{cap} – це опір капіляра в одиничному об'ємі породи.

Опір породи буде:

$$\rho_n = \frac{\rho_{cap}}{K_{p\ dt}} \quad (11)$$

Якщо брати питомий опір капіляра ρ_{cap}, потрібно помножити його на величину (T), яка приводить його до об'єму електричної пористості:

$$\rho_n = \frac{\rho_{cap}}{K_{p\ dt}} \cdot T \quad (12)$$

Величина T є не що інше, як звивистість. Визначимо T:

$$T = \frac{r_n \cdot K_{p\ dt}}{\rho_{cap}} \quad (13)$$

З другого боку, за Арчі-Дахновим:

$$T = \sqrt{\frac{r_n}{\rho_w} \cdot K_{p\ dt}}, \quad (14)$$

де ρ_w – опір пластової води.

Прирівняємо ці дві формули:

$$\sqrt{\frac{r_n}{\rho_w} \cdot K_{p\ dt}} = \frac{r_n \cdot K_{p\ dt}}{\rho_{cap}} \quad (15)$$

Визначимо питомий електричний опір капіляра:

$$\rho_{cap} = \sqrt{r_n \cdot \rho_w \cdot K_{p\ dt}} \quad (16)$$

Розглянемо питомий опір капіляра з урахуванням моделі колектора (рисунок 4). Провідність капіляра визначається послідовно з'єднаними шарами адсорбованої води на глині у складі скелету породи і зв'язаної води на поверхні зерен порового простору, які паралельно знаходяться всередині порового простору:

$$\frac{1}{\rho_{cap}} = \frac{D_{abw}}{\frac{D_{ads}\cdot\rho_{ads}}{D_{abw}}+\frac{D_{bw}\cdot\rho_{bw}}{D_{abw}}} + \frac{D_{fw}}{\rho_w} + \frac{D_{adsin}}{\rho_{ads}}, \quad (17)$$

де D_{adsin} – частка адсорбованої води на глинистих частинках всередині порового простору;

D_{fw} – частка вільної води в поровому просторі, ч.о.;

D_{abw} – частка адсорбованої води на глині скелету та зв'язаної води на поверхні кварцових зерен скелету, ч.о.;

D_{ads} – частка частка адсорбованої води на глині скелету, ч.о.;

D_{bw} – частка зв'язаної води на поверхні кварцових зерен скелету, ч.о.;

ρ_{cap} – питомий електричний опір капіляра, Омм;

ρ_{ads} – питомий електричний опір адсорбованої води на глині скелету, Омм;

ρ_{bw} – питомий електричний опір зв'язаної води на поверхні кварцових зерен скелету, Омм.

За даними мікроскопічних досліджень типових теригенних колекторів, вміст глинистого матеріалу у складі скелету породи може сягати 5%. При подальшому зростанні загальної глинистості надлишок з'являється в поровому просторі у вигляді дисперсних часток. Згідно моделі Дахнова-Вендельштейна, коефіцієнт глинистості K_{sh}= 0,3 ч.о. є критичним для теригенних колекторів. Вважається, що при K_{sh} = 0,3 ч.о. практично весь первинний міжзерновий простір (який у чистого піску становить близько 30-40%) буде заповненим глиною. За прийнятою схемою, при $K_{sh}\leq$ 0,1 ч.о. глинистий матеріал вважається переважно «структурним» або цементувальним. При перевищенні 0,1 ч.о. надлишок глини починає переходити в дисперсний стан, заповнюючи пори породи. Якщо коефіцієнт глинистості K_{sh} перевищить орієнтовний рівень 0,3 - 0,4 ч.о., порода перетворюється на «глинистий матрикс», де піщані зерна вже не торкаються одне одного, а «плавають» у глині. Для наближеного опису зміни величини коефіцієнта глинистості в цементі породи використано модифікованою функцією гіперболічного типу:

$$K_{sh\ cm} \approx \frac{1}{1+\left(\frac{max(0;K_{sh}-0{,}048)}{0{,}075}\right)^{1{,}2}} \quad (18)$$

$$D_{adsin} = (1 - D_{glsk}) \cdot K_{sh} \cdot \omega \quad (19)$$

$$D_{ads} = D_{glsk} \cdot K_{sh} \cdot \omega \quad (20)$$

$$D_{fw} = K_{p\,o} \cdot \left(1 - K_g\right) - D_{bw} \quad (21)$$

$$D_{bw} = K_{p\,o} \cdot k_{bw} \quad (22)$$

$$D_{abw} = D_{ads} + D_{bw} \quad (23)$$

де $K_{p\,o}$ – відкрита пористість, ч.о.;

K_g – коефіцієнт газонасичення, ч.о.;

K_{sh} – коефіцієнт глинистості, ч.о.;

k_{bw} –зв'язана вода в частках відкритій пористості;

ω – вміст адсорбованої води у частках об'єму глинистої компоненти, ч.о.

Прирівнявши вираз питомого електричного опору капіляра з рівняння (16) з виразом питомого електричного опору капіляра з рівняння (17), отримуємо:

$$\frac{1}{(r_n\cdot\rho_w\cdot K_{p\,dt})^{0.5}} = \frac{D_{abw}}{\frac{D_{ads}\cdot\rho_{ads}}{D_{abw}}+\frac{D_{bw}\cdot\rho_{bw}}{D_{abw}}} + \frac{D_{fw}}{\rho_w} + \frac{D_{adsin}}{\rho_{ads}} \quad (24)$$

Звідси отримуємо вираз для питомого електричного опору породи ρ_{rock}:

$$\rho_{rock} = \frac{1}{\left(\frac{D_{abw}}{\frac{D_{ads}\cdot\rho_{ads}}{D_{abw}}+\frac{D_{bw}\cdot\rho_{bw}}{D_{abw}}}+\frac{D_{fw}}{\rho_w}+\frac{D_{adsin}}{\rho_{ads}}\right)^{2.0}\cdot\rho_w\cdot K_{p\,dt}} \quad (25)$$

З отриманого рівняння визначаємо відкриту пористість $K_{p\,o}$:

$$K_{p\,o} = \frac{1}{\left(\frac{D_{abw}}{\frac{D_{ads}\cdot\rho_{ads}}{D_{abw}}+\frac{D_{bw}\cdot\rho_{bw}}{D_{abw}}}+\frac{D_{fw}}{\rho_w}+\frac{D_{adsin}}{\rho_{ads}}\right)^{2.0}\cdot\rho_w\cdot\rho_{rock}} - K_{sh}\cdot\omega \quad (26)$$

А також коефіцієнт газонасичення K_g:

$$K_g = 1 - \frac{(K_{p\,dt}-K_{sh}\cdot\omega)\cdot k_{bw} - \left(\frac{D_{adsin}}{\rho_{ads}}+\frac{D_{abw}}{\frac{D_{ads}\cdot\rho_{ads}}{D_{abw}}+\frac{D_{bw}\cdot\rho_{bw}}{D_{abw}}}-\frac{1}{(\rho_{rock}\cdot\rho_w\cdot K_{p\,dt})^{0.5}}\right)\cdot\rho_w}{Kn^{AK}-K_{sh}\cdot\omega} \quad (27)$$

Питомий опір адсорбованої води на глинистій компоненті (Элланский, 2001) при мінералізації пластової води понад 50 г/л є практично сталою величиною і становить 0,22 Омм; уводиться лише температурна поправка.

Практичні зауваження щодо застосування отриманих зв’язків (25 - 27): товщина плівки зв'язаної води та її питомий електричний опір розраховуються на підставі граничної пористості, яка визначається за графіком «проникність – відкрита пористість» у білогарифмічному масштабі; за відсутності такого графіка використовуються константи, властиві теригенним відкладам певного стратиграфічного віку; питомий електричний опір адсорбованої води на глинистій компоненті є сталою величиною (з поправкою за температуру); у моделі відсутні додаткові підгінні коефіцієнти – є лише показник степеня «2,0» з формули Дахнова–Арчі для капіляра; цей показник розрахований для слабоглинистих колекторів і не враховує товщину плівки зв'язаної води та коефіцієнт газонасичення. У реальності його значення може перебувати в межах від 1,8 до 3,5.

Запропонована геоелектрична модель реалізована у вигляді програмного модуля інтерпретації ГДС для оперативного розрахунку $K_{p\,ef}$, K_g по розрізу свердловини на основі комплексу ГДС (електричні, акустичні, радіоактивні методи).

Висновки. Розроблено капілярну модель електропровідності теригенного колектора, яка розділяє внесок трьох типів пластової води – адсорбованої на глинистій компоненті, зв'язаної на поверхні мінеральних зерен і вільної – у сумарну провідність капіляра породи.

На основі «*коефіцієнта Кашуби*» (0,0525) та формул Козені–Кармана отримано розрахункову модель товщини шару зв'язаної води, чисельне моделювання показало діапазон значень *h* від 40 до 200 нм залежно від граничної відкритої пористості колектора.

Модель верифікована на лабораторних даних гранулометричного та петрофізичного аналізу керна відкладів картамишської світи та візейського ярусу; отримано узгоджені залежності $K_{perm} = f(K_{p\,o})$, $K_{p\,ef} = f(K_{p\,o})$, коефіцієнта зв'язаної води та коефіцієнта вільного флюїду від відкритої й ефективної пористості.

Узгодження геометричної (капілярної) і електричної моделей дозволило її математично описати та отримати конкретні формули для визначення питомого електричного опору породи ρ_{rock} (25), коефіцієнта відкритої пористості $K_{p\,o}$ (26) та коефіцієнта газонасичення K_g (27).

Модель не містить додаткових підгінних коефіцієнтів, окрім показника степеня 2,0 (з формули Дахнова–Арчі), фізичний зміст якого потребує подальшого уточнення для колекторів з різною глинистістю та газонасиченням (діапазон 1,8–3,5).

Первинна апробація моделі (21-23) на реальних промислово-геофізичних даних показала добру збіжність розрахованих та реально зареєстрованих за даними ГДС ПЕО, що свідчить про практичну придатність моделі для уточнення підрахункових параметрів глинистих теригенних колекторів.

Список використаних джерел:

1. Элланский, М. М. (2001) Петрофизические основы комплексной интерпретации данных ГДС (Методическое пособие). ГЕРС.

2. Iheanacho, P.C., Tiab, D., & Igbokoyi, A. O. (2012). Vertical-Horizontal Permeability Relationships for Sandstone Reservoirs. In Nigeria Annual International Conference and Exhibition (Paper SPE 163011-MS). Society of Petroleum Engineers. https://doi.org/10.2118/163011-MS

3. Кашуба, Г.О., & Башкіров, Г.Л. (2024). До питання з визначення граничних значень петрофізичних параметрів. Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування: Матеріали дев'ятої міжнародно- науково практичної конференції (с. 131—137). Державна комісія України по запасах корисних копалин. https://conf.dkz.gov.ua/files/2024_materials_net.pdf

References

Ellanskiy, M. M. (2001). Petrofizicheskiye osnovy kompleksnoy interpretatsii dannykh GDS (metodicheskoye posobiye) M. M. Ellanskiy. – M. GERS. [In Russian]

Iheanacho, P.C., Tiab, D., & Igbokoyi, A. O. (2012). Vertical-Horizontal Permeability Relationships for Sandstone Reservoirs. In Nigeria Annual International Conference and Exhibition (Paper SPE 163011-MS). Society of Petroleum Engineers. https://doi.org/10.2118/163011-MS

Kashuba, H.O., & Bashkirov, H.L. (2024). Do pytannia z vyznachennia hranychnykh znachen petrofizychnykh parametriv. Nadrokorystuvannia v Ukraini. Perspektyvy investuvannia: Materialy deviatoi mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferencii (pp. 131-137). Derzhavna komisia Ukrainy po zapasakh koryshykh kopalyn. https://conf.dkz.gov.ua/files/2024_materials_net.pdf [In Ukrainian]

УДК 622.1:553.04:004.9

ДОСВІД ЗАСТОСУВАННЯ K-MINE ДЛЯ ЗВІТНОСТІ ЗА НАЦІОНАЛЬНОЮ КЛАСИФІКАЦІЄЮ, JORC, NI 43-101 ТА S-K 1300

***Назаренко М.В.**, д. техн. н., FAusIMM, ORCID 0009-0004-1982-4090, mvn@k-mine.com,*
***Кебал Я.В.**, MAusIMM, ORCID ID 0009-0003-8277-6629, kebal@k-mine.com,*
Група компаній КАІ , м. Кривий Ріг, Україна

Постановою Кабінету Міністрів України від 25.09.2025 № 1197 національну Класифікацію запасів і ресурсів корисних копалин державного фонду надр приведено у відповідність до Рамкової класифікації ресурсів ООН (РКООН/UNFC-2019). Перехід до координат E-F-G знімає бар'єр між українськими та міжнародними стандартами оцінки родовищ. Мета роботи полягає в обґрунтуванні та демонстрації ефективності застосування єдиної цифрової моделі родовища як основи для державної експертизи України та звітності за міжнародними кодексами шаблону CRIRSCO (JORC, NI 43-101, S-K 1300). Дослідження базується на застосуванні гірничо-геологічної інформаційної системи (ГГІС) K-MINE. Описано технологічний ланцюг: валідація даних розвідки (QA/QC), блокове моделювання, взаємна верифікація за геологічними блоками, оптимізація контурів кар'єру, календарне планування та фінансове моделювання. Підхід апробовано на об'єктах із подвійною звітністю: залізорудних кар'єрах і підземному руднику ArcelorMittal Кривий Ріг (S-K 1300 для лістингу NYSE), графітових родовищах в Україні та Канаді (JORC, NI 43-101), каолінових родовищах в Австралії (S-K 1300 та JORC). Доведено, що використання ГГІС K-MINE забезпечує конвертацію даних між національною та міжнародними системами класифікації, мінімізує похибки за рахунок взаємної верифікації та суттєво підвищує інвестиційну привабливість українських надрокористувачів на світових фінансових ринках.

Ключові слова: геолого-економічна оцінка, РКООН-2019, блокова модель, оптимізація контуру кар'єру, K-MINE, шаблон CRIRSCO.

EXPERIENCE OF APPLYING K-MINE TO REPORTING UNDER THE NATIONAL CLASSIFICATION, JORC, NI 43-101 AND S-K 1300

***Nazarenko M.**, Dr. Sc. (Eng.), ORCID 0009-0004-1982-4090, mvn@k-mine.com,*
***Kebal Ya.**, ORCID ID 0009-0003-8277-6629, kebal@k-mine.com,*
KAI Group of Companies (KAI LLC, K-MINE), Kryvyi Rih, Ukraine

By Resolution No. 1197 of 25 September 2025 of the Cabinet of Ministers of Ukraine, the national Classification of Mineral Reserves and Resources of the State Subsoil Fund was aligned with the United Nations Framework Classification for Resources (UNFC-2019). The E–F–G coordinates remove the barrier between Ukrainian and international standards of deposit evaluation. The work substantiates the effectiveness of a unified digital deposit model as the basis both for state expert review in Ukraine and for reporting under the CRIRSCO Template codes (JORC, NI 43-101, S-K 1300). The technological chain implemented in the K-MINE mining and geological information system is described: validation of exploration data (QA/QC), block modelling, mutual verification against the geological-block method, pit limit optimisation, mine scheduling and financial modelling. The approach has been tested on properties with dual reporting: the open pits and underground mine of ArcelorMittal Kryvyi Rih (S-K 1300 for the NYSE listing), graphite deposits in Ukraine and Canada (JORC, NI 43-101) and kaolin deposits in Australia (S-K 1300 and JORC). K-MINE is shown to ensure data conversion between the national and international classification systems, to minimise errors through mutual verification and to increase the investment attractiveness of Ukrainian subsoil users on global financial markets.

Keywords: geological and economic evaluation; UNFC-2019; block model; pit limit optimisation; K-MINE; CRIRSCO Template.

Вступ. Постановою Кабінету Міністрів України від 25.09.2025 № 1197 внесено зміни до Класифікації запасів і ресурсів корисних копалин державного фонду надр, якими національну систему обліку приведено у відповідність до Рамкової класифікації ресурсів ООН (РКООН/UNFC-2019), що дозволяє зняти бар'єр між українськими і міжнародними стандартами у сфері геолого-економічної оцінки (ГЕО) родовищ.

Тривимірна система координат РКООН вимагає для кожного об'єкта підтверджених оцінок за трьома осями – соціально-економічної та екологічної життєздатності (E), обґрунтованості й стадії проєкту освоєння (F) та ступеня геологічної вивченості (G).

Матеріали для оцінки за категорією G виводяться зі звіту геологорозвідки, тоді як матеріали для оцінки за категорією E та F формуються на основі гірничо-технічного проєктування (побудова оптимального контуру відпрацювання, календарне планування та

економічний розрахунок). Отже, оцінка запасів за РКООН/UNFC-2019 є результатом спільної роботи геологів та інженерів-проєктувальників, а єдина цифрова модель родовища стає джерелом даних для кожного етапу геолого-економічної оцінки.

Мета роботи – показати на практичних прикладах, що технологічною основою узгодженої оцінки за національною та міжнародними системами (РКООН-2019, шаблон CRIRSCO, JORC, NI 43-101, S-K 1300) є єдина цифрова модель родовища, з якої формуються різні за формою, але взаємно верифіковані звітні документи. Методичну базу становлять геостатистичне блокове моделювання, алгоритмічна оптимізація кінцевих контурів кар'єру, календарне планування гірничих робіт та аналіз дисконтованих грошових потоків, реалізовані в гірничо-геологічній інформаційній системі K-MINE.

Геолого-економічна оцінка за українськими законодавством та за міжнародними стандартами має ряд суттєвих відмінностей (спосіб підрахунку запасів, визначення бортового вмісту, визначення модифікуючих факторів впливу на інвестиційну привабливість, юридична відповідальність), які є визначальними в процесі формування звітності (табл. 1).

Таблиця 1

Зіставлення підходів національної та міжнародних систем оцінки

Ознака	Національна система (Класифікація у відповідності до РКООН-2019)	Кодекси сімейства CRIRSCO (JORC, NI 43-101, S-K 1300)
Основа підрахунку	Метод геологічних блоків або розрізів; блокова модель можлива – як додаток	Блокова модель із геостатистичним обґрунтуванням та класифікацією блоків
Кондиції, бортовий вміст	Затверджуються як фіксований параметр	Розрахункова функція ціни, витрат і вилучення. Переглядається на кожній стадії вивчення родовища або при зміні факторів
Перехід до запасів	Балансові запаси за затвердженими кондиціями просуваються по осі E і F за РКООН-2019	*Mineral resources* переходить в *reserves* після застосування модифікуючих чинників
Категорії	Балансові запаси → код: 111/ код: 112	Inferred / Indicated / Measured → Probable / Proved
Економічна оцінка	Коефіцієнт рентабельності, термін окупності	Маркетингове дослідження. Дисконтований грошовий потік, NPV/IRR, аналіз чутливості.
Відповідальність	Колективна відповідальність державного органу	Персональна відповідальність Competent Person / Qualified Person

У вітчизняній практиці запаси підраховують методом геологічних блоків або розрізів із середніми показниками, тоді як міжнародна практика спирається на блокове моделювання з геостатистичним обґрунтуванням: композитування проб, варіограмний аналіз, інтерполяцію (кригінг, метод обернених відстаней), крос-валідацію та класифікацію блоків за похибкою оцінки й щільністю розвідувальної мережі.

Кондиції та бортовий вміст у вітчизняній практиці затверджуються як жорсткий нормативний параметр без урахування коливань ринкових цін, тоді як cut-off grade є розрахунковою функцією ціни, витрат і вилучення та переглядається на кожній стадії вивчення. Ця відмінність прямо впливає на оптимальний контур кар'єру і, як наслідок, на обсяг запасів, залучених до відпрацювання.

Подальший перехід від ресурсів до запасів (mineral resources → ore reserves) у кодексах CRIRSCO відбувається при визначенні із застосуванням чітко описаних у звіті модифікуючих факторів (гірничотехнічних, металургійних, інфраструктурних, екологічних, соціальних, правових та економічних обґрунтувань), які безпосередньо

впливають на економічну доцільність видобутку корисної копалини та інвестиційну привабливість для інвестора.
У вітчизняній звітності модифікуючі фактори мають укрупнений описовий характер і не впливають прямо на економічну доцільність, тоді як у РКООН-2019 перехід від ресурсів до запасів здійснюється саме через оцінку за осями E та F, за результатами якої родовище отримує цифровий код класу.

Відповідальність за оцінку у вітчизняній практиці покладено на ДКЗ, тоді як у міжнародній – на конкретну Competent Person / Qualified Person із підтвердженим членством у професійній організації зі списку ROPO, сформованого CRIRSCO.

Наведені відмінності обґрунтовують доцільність створення єдиної цифрової моделі родовища, яка дозволить отримувати всі необхідні показники для різних форм звітності за українськими (Класифікація у відповідності до РКООН-2019) та міжнародними стандартами (кодекси CRIRSCO) (рис. 1).

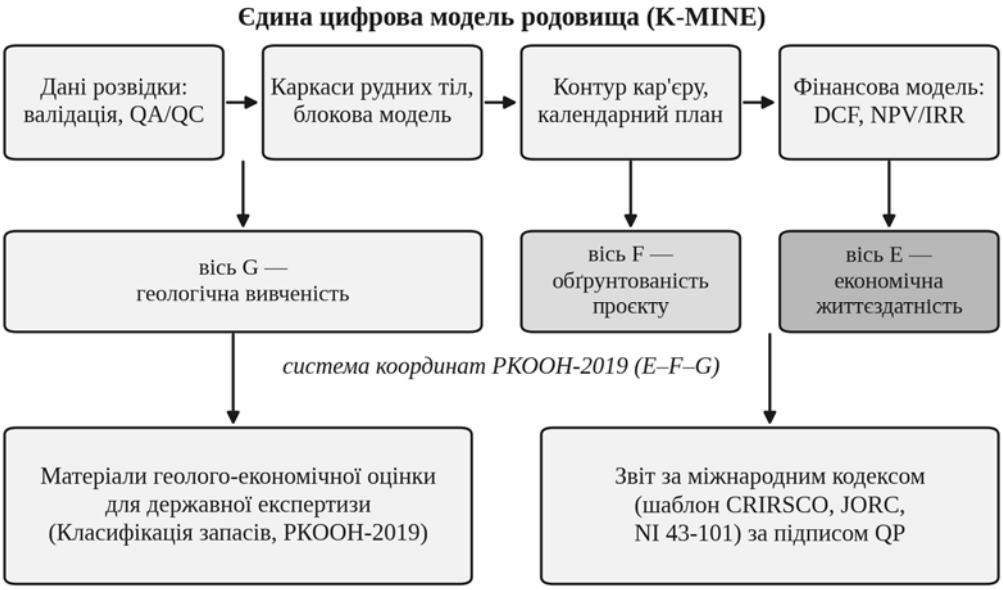


Рис. 1. Формування осей E, F, G на єдиній цифровій моделі родовища та розділення на дві форми звітності

Методи дослідження. 3D-моделювання родовищ засобами гірничо-геологічної інформаційної системи K-MINE, що передбачає такий ланцюг робіт:

1. Створення єдиної бази геологорозвідувальних даних з валідацією та QA/QC (контрольні й повторні проби) з протоколюванням процедур, що дає можливість трактувати отримані матеріали як ресурси згідно міжнародних стандартів. Відсутність задокументованих процедур QA/QC у розвідках минулих років унеможливлює визнання запасів за міжнародними кодексами.

2. Каркасне моделювання рудних тіл, композитування, статистичний і варіограмний аналіз, побудова блокової моделі, класифікація за ступенем вивченості та присвоєння коду по осі G згідно РКООН-2019.

3. Підрахунок запасів двома вище описаними методами на одному масиві даних, що дає можливість провести верифікацію та підтвердження отриманих результатів.

4. Визначення оптимальних кінцевих контурів кар’єру, що забезпечує максимальне NPV.

5. Календарне планування гірничих робіт, що дає матеріали для створення фінансово-економічної моделі під український та міжнародний стандарт, а також дозволяє присвоїти код по осі F згідно РКООН-2019.

6. Передача отриманих показників у фінансово-економічну модель (CAPEX/OPEX, DCF, NPV/IRR, аналіз чутливості) із зворотною ітерацією на cut-off і контур. Саме це формує оцінку по міжнародним стандартам CRIRSCO та дає матеріали для присвоєння коду по осі E згідно РКООН-2019.

Результати дослідження. Описаний ланцюг робіт дає можливість сформувати звіти відповідно до вимог стандартів CRIRSCO та державної експертизи з врахуванням класифікації РКООН-2019. Таким чином, геологічна основа, координатна система, каркаси й база опробування залишаються спільними для кожного стандарту, а отже взаємно верифікованими.

В якості підтвердження життєздатності даного підходу до формування звітностей з геолого-економічної оцінки за різними стандартами є успішно виконані звіти компанією KAI.

Компанія KAI виконала геолого-економічні оцінки та техніко-економічні обґрунтування кондицій для залізної руди, каоліну, вогнетривких і тугоплавких глин, графіту, титанових руд (циркон, рутил, ільменіт, ставроліт, дистен-силіманіт) та берилієвих руд, а звітність готувалася за чотирма стандартами (національна Класифікація, S-K 1300, NI 43-101, JORC) залежно від вимог Замовника (табл. 2). Частина робіт наразі триває, зокрема, Pre-Feasibility Study по каолінових родовищах Австралії.

Таблиця 2

Об'єкти, за якими звітність готувалася за міжнародними системами

Об'єкт	Корисна копалина	Система звітності	Період і стан
Кар'єри № 3 і № 2-біс, ArcelorMittal Кривий Ріг	залізна руда	S-K 1300 (лістинг NYSE)	2021-2025, виконано
Підземний рудник, ArcelorMittal Кривий Ріг	залізна руда	S-K 1300 (лістинг NYSE)	2021-2025, виконано
Kearney Graphite Mine, Онтаріо, Канада	графіт	NI 43-101, Preliminary Economic Assessment	2023, виконано
Родовище Turk-Parida, Таджикистан	сурма	історична оцінка ресурсів, проєкт ГРР	2024, виконано
Clydesdale, Квінсленд, Австралія	каолін	S-K 1300, Initial Assessment TRS	2025, виконано
Clydesdale і Surprise, Квінсленд, Австралія	каолін	JORC, Pre-Feasibility Study	виконується

Це доводить, що єдина цифрова модель родовища дає змогу готувати звіти відповідно до вимог як українських, так і міжнародних стандартів. Фахівці компанії KAI є кваліфікованими особами, які підписують міжнародні звіти за напрямами оцінки ресурсів і запасів, проєктування та оптимізації гірничих робіт і геотехніки та здатні проводити оцінки родовищ по кільком стандартам.

Практика виконання цих робіт виявила питання ширше за класифікацію запасів: відмінності між національною та міжнародною системами оцінки поширюються і на стадійність вивчення родовища. Стадії, які у вітчизняній практиці вважають еквівалентними міжнародним, збігаються за деталізацією проробки, але не за змістом (табл. 3).

Таблиця 3

Відповідність стадій освоєння родовища та точність оцінки капітальних витрат

Міжнародна практика	Україна	Проробка проєкту, %	Точність оцінки витрат за AACE 47R-11
MRE – оцінка мінеральних ресурсів	Підрахунок запасів, тимчасові кондиції (ДКЗ)	–	–
PEA / Scoping	Передпроєктні розробки	0-2	клас 5: −20…−50 / +30…+100 %
PFS – попереднє ТЕО	ТЕО кондицій, постійні кондиції	1-15	клас 4: −15…−30 / +20…+50 %
FS – рішення банку про фінансування	Проєкт (стадія «П») – держекспертиза, дозвіл на будівництво	10-40	клас 3: −10…−20 / +10…+30 %
Detailed design	Робоча документація (стадія «Р»)	30-75	клас 2: −5…−15 / +5…+20 %

Зіставлення показує, що стадія «Проєкт» деталізованіша за FS у частині креслень, проте не містить і не вимагає більшості того, що міжнародний звіт вважає обов'язковим: запасів за CIM з підписом кваліфікованої особи, задокументованих процедур QA/QC, бортового вмісту, розрахованого з фінансової моделі та оптимізації контуру кар'єру, геомеханічної класифікації масиву (RMR/Q/GSI) з оцінкою ймовірності руйнування укосів, оцінки хвостосховища за класифікацією наслідків, маркетингового дослідження та DCF-моделі. Кошторис, складений за національною Настановою з визначення вартості будівництва, не є оцінкою CAPEX класу 3 за AACE 47R-11: він охоплює лише період капітального будівництва, тоді як фінансова модель міжнародного звіту прораховує кожен рік роботи підприємства до його закриття. Тому жоден із цих документів не перетворюється на інший переоформленням, а перехід в обидва боки потребує нових досліджень і розрахунків.

Досвід виконаних робіт показує, що визначальним обмеженням є не програмне забезпечення, а стан вихідних даних. Найчастіше бракує не геології, а інженерних вишукувань: задокументованих процедур QA/QC для розвідок минулих років, орієнтованого буріння та визначення тріщинуватості й RQD по керну для геомеханічних розрахунків, актуальних гідрогеологічних спостережень (у низці випадків єдиним джерелом залишаються звіти 1990-х років), технологічних і маркетингових досліджень. Саме на цих позиціях кваліфікована особа не підписує відповідні розділи звіту, і саме вони, а не обсяг геологорозвідки, визначають досяжну категорію за осями E і F. Єдина цифрова модель, побудована засобами K-MINE, дає змогу виявити такі прогалини на ранній стадії та сформувати обґрунтовану програму довивчення з прив'язкою кожної позиції до конкретної осі РКООН-2019.

Новизна дослідження. Запропонований підхід полягає у трактуванні цифрової моделі родовища не як засобу візуалізації, а як єдиного джерела даних для двох систем класифікації, із вбудованою процедурою взаємної верифікації результатів блокового моделювання та традиційного підрахунку запасів за геологічними блоками. Питання зіставності національної класифікації з РКООН досліджувалося й раніше: показано, що вітчизняна система від початку побудована на трьох ознаках, аналогічних осям РКООН, і що практично всі національні категорії мають відповідники у РКООН (Рудько & Михайлів, 2017), а для критичної мінеральної сировини запропоновано методичні підходи до узгодження державного балансу з інтегрованим обліком за РКООН (Литвинюк & Баряцька, 2024). Отже, формальна таблиця відповідності категорій не є головною перешкодою переходу. Результати цієї роботи показують, що проблема лежить в іншій площині: осі E і F неможливо вивести зі звіту з геологорозвідки – вони є наслідком гірничо-технічного проєктування та економічного моделювання, а тому потребують іншого складу вихідних даних та іншого інструментарію.

Висновки. 1. Гармонізація національної Класифікації з РКООН-2019 знімає бар'єр між українськими і міжнародними стандартами геолого-економічної оцінки, але вимагає, щоб геологічна, гірничо-технічна та економічна оцінка родовища виконувалися в межах одного звіту. За таких умов цифрова модель родовища перестає бути допоміжним інструментом і стає єдиною основою класифікації: одна верифікована модель здатна живити і національну, і міжнародну форми звітності.

2. Відповідність вітчизняних і міжнародних стадій вивчення родовища існує лише за рівнем проробки, а не за змістом. Стадія «Проєкт» не містить того, що міжнародний звіт вимагає щодо ресурсів, бортового вмісту, геотехніки, екології та економіки, а кошторис за національною Настановою не є оцінкою CAPEX класу 3 за AACE 47R-11. Тому обидва документи доцільно виконувати паралельно на спільній технічній базі, а не намагатися отримати один із одного.

3. Визначальним обмеженням переходу є не програмне забезпечення, а стан вихідних даних: відсутність задокументованих процедур QA/QC, орієнтованого буріння та геомеханічних визначень по керну, актуальної гідрогеології, технологічних і

маркетингових досліджень. Саме ці позиції, а не обсяг геологорозвідки, визначають досяжну категорію за осями E і F.

4. Доцільно розглянути на рівні ДКЗ визнання цифрової моделі родовища обов'язковим складником матеріалів геолого-економічної оцінки, розробити узгоджені правила переведення раніше затверджених балансових і позабалансових запасів у координати РКООН-2019, а також вимоги до цифрового подання матеріалів – формати передачі моделей і баз даних, склад метаданих, відтворюваність результату, доступні для перевірки в процесі державної експертизи. Інструментарій і компетенції для цього в Україні вже сформовані: наведені в роботі об'єкти підготовлено за різними системами звітності на одній технологічній платформі – ГГІС K-MINE.

Список використаних джерел:

Кабінет Міністрів України. (2025). *Про внесення змін до Класифікації запасів і ресурсів корисних копалин державного фонду надр* (Постанова № 1197 від 25.09.2025).

Литвинюк, С., & Баряцька, Н. (2024). Методичні підходи визначення та оцінки ресурсного потенціалу критичної мінеральної сировини України. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія, 1*(104), 77–85. https://doi.org/10.17721/1728-2713.104.10

Рудько, Г. І., & Михайлів, І. Р. (2017). РКООН-2009 як інструмент адаптації класифікації запасів і ресурсів корисних копалин України до світових стандартів звітності. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ, 4*(65), 7–18.

AACE International. (2020). *Cost estimate classification system – as applied in engineering, procurement, and construction for the mining and mineral processing industries* (Recommended Practice No. 47R-11). AACE International.

Australasian Joint Ore Reserves Committee. (2012). *Australasian code for reporting of exploration results, mineral resources and ore reserves (the JORC Code)* (2012 ed.). AusIMM, AIG & MCA. https://www.jorc.org

Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum. (2014). *CIM definition standards for mineral resources and mineral reserves*. CIM. https://mrmr.cim.org

Canadian Securities Administrators. (2011). *National Instrument 43-101: Standards of disclosure for mineral projects*. CSA.

Committee for Mineral Reserves International Reporting Standards. (2019). *CRIRSCO international reporting template*. CRIRSCO. https://www.crirsco.com

United Nations Economic Commission for Europe. (2020). *United Nations Framework Classification for Resources: Update 2019* (ECE Energy Series No. 61). United Nations. https://unece.org/sustainable-energy/unfc-and-sustainable-resource-management

U.S. Securities and Exchange Commission. (2018). *Modernization of property disclosures for mining registrants* (Release No. 33-10570; 17 CFR § 229.1300). SEC. https://www.sec.gov

References

AACE International. (2020). *Cost estimate classification system – as applied in engineering, procurement, and construction for the mining and mineral processing industries* (Recommended Practice No. 47R-11). AACE International.

Australasian Joint Ore Reserves Committee. (2012). *Australasian code for reporting of exploration results, mineral resources and ore reserves (the JORC Code)* (2012 ed.). AusIMM, AIG & MCA. https://www.jorc.org

Cabinet of Ministers of Ukraine. (2025). *On amendments to the Classification of reserves and resources of minerals of the state subsoil fund* (Resolution No. 1197 of 25.09.2025).

Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum. (2014). *CIM definition standards for mineral resources and mineral reserves*. CIM. https://mrmr.cim.org

Canadian Securities Administrators. (2011). *National Instrument 43-101: Standards of disclosure for mineral projects*. CSA.

Committee for Mineral Reserves International Reporting Standards. (2019). *CRIRSCO international reporting template*. CRIRSCO. https://www.crirsco.com

Lytvyniuk, S., & Bariatska, N. (2024). Methodological approaches for determination and assessing the resource potential of critical raw materials in Ukraine. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv: Geology, 1*(104), 77–85. https://doi.org/10.17721/1728-2713.104.10 [in Ukrainian].

Rudko, H. I., & Mykhailiv, I. R. (2017). UNFC-2009 as a tool for adapting the classification of mineral reserves and resources of Ukraine to world reporting standards. *Prospecting and Development of Oil and Gas Fields, 4*(65), 7–18. [in Ukrainian].

United Nations Economic Commission for Europe. (2020). *United Nations Framework Classification for Resources: Update 2019* (ECE Energy Series No. 61). United Nations. https://unece.org/sustainable-energy/unfc-and-sustainable-resource-management

U.S. Securities and Exchange Commission. (2018). *Modernization of property disclosures for mining registrants* (Release No. 33-10570; 17 CFR § 229.1300). SEC. https://www.sec.gov

УДК 622.882:502.174:553.04

РЕКУЛЬТИВАЦІЯ ПРИ ВІДКРИТІЙ РОЗРОБЦІ РОДОВИЩ: РОЗРАХУНОК НА ЦИФРОВІЙ МОДЕЛІ ТА ВРАХУВАННЯ ВИТРАТ У ГЕОЛОГО-ЕКОНОМІЧНІЙ ОЦІНЦІ

***Кебал Я.В.**, ORCID ID 0009-0003-8277-6629, kebal@k-mine.com,*
***Кебал А.О.**, ORCID* 0009-0006-4650-6746*, alina.kebal@k-mine.com,*
Група компаній KAI, м. Кривий Ріг, Україна

Загальна площа порушених гірничими роботами земель в Україні перевищує 265 тис. га, а щороку для потреб гірничодобувної промисловості вилучають від 7 до 8 тис. га. Рекультивація є вимогою статті 50 Кодексу України про надра та статті 166 Земельного кодексу, обов'язковою до виконання, і являє собою комплекс робіт, спрямованих на відновлення продуктивності та екологічної цінності порушених земель. Проте у вітчизняній практиці геолого-економічної оцінки родовищ рекультивація зазвичай фігурує як зобов'язання й укрупнений кошторис, що базується виключно на розділі проєкту розробки родовища, не прив'язана до календарного плану гірничих робіт і не відображає реальних витрат на її проведення. З набранням чинності Правилами розроблення робочих проектів землеустрою (постанова Кабінету Міністрів України від 02.02.2022 № 86) рекультивація як процес має бути описана та оцінена окремим робочим проєктом землеустрою, а отже повною мірою врахована в матеріалах геолого-економічної оцінки. Проаналізовано вимоги законодавства щодо рекультивації, виконано моделювання схем рекультивації та визначено їх економічну і технологічну доцільність.

Ключові слова: порушені землі, рекультивація, закриття гірничого об’єкта, витрати на закриття, геолого-економічна оцінка, цифрова модель родовища.

RECLAMATION IN SURFACE MINING: CALCULATION ON A DIGITAL MODEL AND THE TREATMENT OF COSTS IN GEOLOGICAL AND ECONOMIC EVALUATION

***Kebal Ya.**, ORCID ID 0009-0003-8277-6629, kebal@k-mine.com,*
***Kebal A.**, ORCID* 0009-0006-4650-6746*, alina.kebal@k-mine.com,*
KAI Group of Companies, Kryvyi Rih, Ukraine

The total area of land disturbed by mining in Ukraine exceeds 265 thousand hectares, and another 7 to 8 thousand hectares are withdrawn for mining every year. Reclamation is a mandatory requirement of Article 50 of the Subsoil Code of Ukraine and Article 166 of the Land Code, and constitutes a set of works aimed at restoring the productivity and ecological value of disturbed land. In domestic practice, however, geological and economic evaluation treats reclamation as an obligation with an aggregated cost estimate derived solely from the mine development project; it is not linked to the mine production schedule and does not reflect the actual cost of the work. Since the Rules for Developing Working Land Management Projects came into force (Resolution No. 86 of the Cabinet of Ministers of Ukraine of 2 February 2022), reclamation has had to be described and costed in a separate working land management project, and therefore must be fully accounted for in geological and economic evaluation materials. The paper analyses the legislative requirements for reclamation, models reclamation schemes and determines their economic and technological feasibility.

Keywords: disturbed land, reclamation, mine closure, closure costs, geological and economic evaluation, digital deposit model.

Вступ. Загальна площа порушених земель в Україні перевищує 265 тис. га, з яких понад 150 тис. га виділено під видобуток корисних копалин та пов’язаної з цим промислової діяльності. Щороку для потреб гірничодобувної промисловості вилучають від 7 до 8 тис. га земель, що належали переважно сільському або лісовому господарству (Іванов, Біланюк, 2017). Гірничовидобувна промисловість є найземлеємнішою галуззю в країні. При цьому основну частину порушення формує відвальне господарство під час відкритої розробки.

Стаття 50 Кодексу України про надра зобов’язує передбачати рекультивацію та максимальне збереження ґрунтового покриву вже у проєктах будівництва гірничодобувних об’єктів, стаття 166 Земельного кодексу України визначає сенс рекультивації, стаття 52 Закону України «Про охорону земель» вимагає зняття, складування й збереження відокремленої ґрунтової маси, Гірничий закон України відносить своєчасну рекультивацію до основних екологічних вимог.

Однак, дослідники вказують, що на державному рівні остаточно не врегульовано питання проведення робіт з рекультивації і контролю за їх виконанням (Куліковська, Катушков, 2022), а Закон України «Про охорону земель» не містить положень щодо охорони земель при геологічному вивченні надр і гірничодобувних роботах, у зв'язку з чим дослідниками пропонується ухвалити окремий закон про рекультивацію (Мачуська та ін., 2024).

При цьому, згідно з «Правилами розроблення робочих проектів землеустрою», затвердженими постановою Кабінету Міністрів України від 02.02.2022 № 86 робочий проєкт землеустрою щодо зняття та зберігання родючого шару ґрунту, а також рекультивації порушених земель розробляється ще до початку видобутку, а значить, рекультивація повинна в повній мірі враховуватися у матеріалах геолого-економічної оцінки.

Проте у вітчизняній практиці проведення геолого-економічної оцінки родовища рекультивація зазвичай присутня як зобов'язання й укрупнений кошторис, що базується на припущеннях про майбутню рекультивацію у більш пізніх періодах розробки родовища, не прив'язана до календарного плану гірничих робіт і не відображає реальних витрат на її проведення. Однак, витрати на рекультивацію та закриття гірничого об'єкту потребують резервних фондів і мають належати до собівартості видобутку, яка визначається в матеріалах геолого-економічної оцінки (Качановський, 2020).

Окрім того, гармонізація національної Класифікації запасів із Рамковою класифікацією ресурсів ООН (постанова Кабінету Міністрів України від 25.09.2025 № 1197) переводить питання рекультивації з площини природоохоронних розділів у площину класифікації запасів. РКООН-2019 описує проєкт трійкою координат (рис. 1): E – екологічна та соціально-економічна життєздатність, F – обґрунтованість і стадія проєкту освоєння, G – ступінь геологічної вивченості, а в результаті геолого-економічної оцінки родовищу призначається тризначний код.



Рис. 1. Система координат РКООН-2019 та проєктні дані, що формують кожну з осей

Категорія E1 означає підтверджену життєздатність; F1 відповідає проєкту, видобуток за яким розпочато або підтверджено; G1 означає, що проведено детальну розвідку, а поклади оконтурені. Витрати на рекультивацію та закриття гірничого об'єкту входять до грошового потоку проєкту, а отже безпосередньо визначають його позицію за віссю E: об'єкт, у якому ці витрати не пораховані, не може бути коректно віднесений ані до E1, ані до E2.

Мета статті показати, що показники (площа рекультивації, обсяг знятого родючого шару, геометрія на момент закриття об'єкту) для розрахунку витрат на рекультивацію та закриття гірничого об'єкту є похідними від календарного плану гірничих робіт та обчислюються на цифровій моделі родовища, а також, оцінити кількісний ефект поетапної та відкладеної рекультивації.

Методи дослідження. 3D-моделювання варіантів календарного планування з розрахунком геометрії кар'єрів та відвалів за періодами їх експлуатації в системі K-MINE. Економіко-математичне моделювання дисконтованих грошових потоків.

Результати досліджень. За узагальненими даними, при відкритому способі видобування втрати земель на 1 млн т сировини становлять: для залізної руди 14-640 га, для марганцевої 76-600 га, для нерудної сировини 1,5-583 га, для вугілля 2,6-43,0 га (Іванов, Біланюк, 2017). Розкид у межах одного виду сировини сягає двох порядків, а отже землеємність визначається не видом корисної копалини, а конкретною геометрією кар'єру та відвалів, тобто технічними рішенням, розробленими в проєкті.

Основну частину порушення формує не сам кар'єр, а відвальне господарство: за глибини кар'єрів понад 500 м площа відвалів у 4-5 разів перевищує площу кар'єру. Геометрія відвалу є прямою похідною календарного плану – обсягу розкриву за періодами, який вилучається з кар'єру, схеми відвалоутворення, обладнання, яке застосовується, висоти та кількості ярусів.

Отже, жоден із показників, потрібних для розрахунку обсягів рекультивації та закриття гірничо об'єкту, не є самостійною екологічною величиною: усі вони отримуються з геометрії гірничих робіт на кожному кроці календарного плану (табл. 1).

Таблиця 1

Показники рекультивації та закриття, що обчислюються на цифровій моделі

Показник	Джерело в цифровій моделі	Для чого потрібно
Площа порушених земель	Контури кар'єру та відвалів по періодам відпрацювання	Землевідведення, плата за землю
Площа доступна для проведення рекультивації	Завершені яруси відвалу. Відпрацьовані ділянки кар'єру	Графік рекультивації та розподіл витрат у часі
Обсяг знятого родючого шару	Потужність ґрунтового шару за площею зняття на розрахунковий період	Робочий проєкт землеустрою, місткість складів ґрунту, витрати на зняття
Обсяг гірничотехнічної рекультивації	Різниця між фактичною та проєктною поверхнею відвалу і бортів	Обсяг планувальних робіт, потреба в техніці
Геометрія на момент закриття гірничого об'єкту	Кінцевий контур кар'єру та відвалів, відмітки, кути укосів, залишкові гірничі виробки	Витрати на приведення в безпечний стан, вибір напрямку рекультивації

Практичне значення такого підходу в тому, щоб графік рекультивації необхідно розглядати як частину календарного плану: кожен гектар, вивільнений відпрацюванням, з'являється у графіку рекультивації того самого року. На проєктах, виконаних групою компаній KAI у системі K-MINE, чітко простежуються дві принципово різні схеми рекультивації, які залежать від форми покладу корисної копалини.

Крутоспадні родовища (залізисті кварцити, графіт, граніти, доломіти). Вироблений простір кар'єру є активною робочою зоною з інженерними комунікаціями, транспортними шляхами, дренажними системами та охоронними зонами. Це робить технологічно та юридично неможливим масштабне внутрішнє відвалоутворення на етапі активної експлуатації, змушуючи надрокористувача відчужувати землі під зовнішні відвали.

Саме тому, рекультивація гірничих об'єктів, які утворені в процесі розробки крутоспадних родовищ, виконується на кінець відпрацювання. При цьому, спосіб і зміст робіт з рекультивації порушених земель, а також напрям їх подальшого використання, передбачається «Правилами розроблення робочих проектів землеустрою», з урахуванням характеру порушення, рельєфу, екологічних, конкретних природно-кліматичних умов.

Залишкові кар'єрні виїмки найчастіше використовуються під водойму в його глибинній частині та під багаторічні насадження в нагірній частині, тоді як зовнішні високі

відвали (30-100 м) використовуються під багаторічні насадження на плато і протиерозійні насадження на укосах і терасах (рис. 2). Таким чином, рекультивація на кінець розробки родовища є обмеженням, яке регламентується Законодавством України. Саме тому, витрати на рекультивацію та закриття гірничого об'єкту повинні бути прораховані заздалегідь зі сформованим резервним фондом на виконання цих робіт.

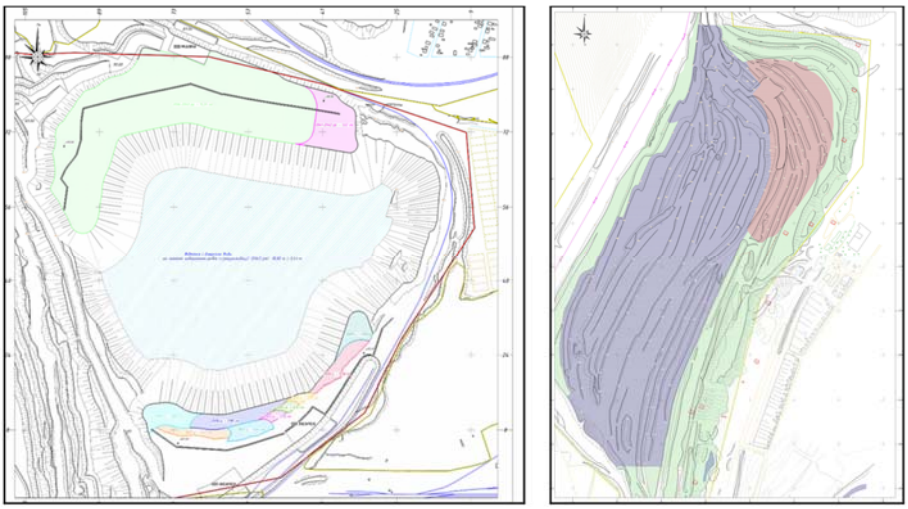


Рис. 2. Рекультивація на кінець відпрацювання (крутоспадне залізорудне родовище): план гірничотехнічної рекультивації кар'єру з утворенням водойми, рекультивація зовнішнього відвалу розкривних порід. Проєкти виконані засобами K-MINE

Пластові поклади (глини, каоліни, будівельна сировина). Суттєва відмінність технології проведення гірничих робіт для пластових покладів полягає у переміщенні фронту гірничих робіт таким чином, що безпосередньо дає можливість слідом за вийманням корисної копалини розміщувати розкривну породу у вироблений простір кар'єру. При відпрацюванні пластових родовищ, що займають великі площі, рекультивація земель проводиться паралельно з експлуатаційними гірничими роботами, але зі зсувом у часі на 1-2 роки, необхідним для остаточної усадки внутрішніх відвалів. Згідно з «Правилами розроблення робочих проектів землеустрою» кар'єри, які утворюються внаслідок розробки пластових родовищ використовуються під пасовища або лісонасадження.

На рис. 3 наведено календарні плани рекультивації двох кар'єрів родовища вогнетривких глин, побудовані на цифровій моделі в системі K-MINE. Площі рекультивації на календарних планах виділяються за періодами відпрацювання кар'єру в залежності від конфігурації гірничих робіт.

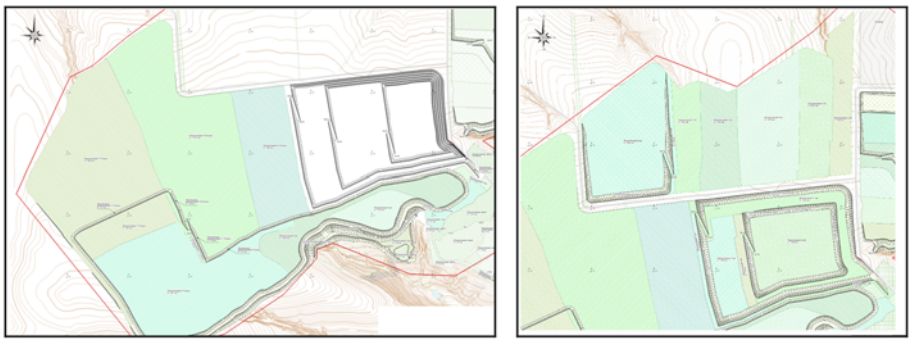


Рис. 3. Календарні плани рекультивації двох кар'єрів пластового родовища вогнетривких глин. Проєкти виконані засобами K-MINE

При цьому, дослідники вказують, що мінімальних затрат на рекультивацію досягають за внутрішнього відвалоутворення та виконання рекультивації одразу за переміщенням фронту гірничих робіт (Іванов, Біланюк, 2017).

В обох випадках вихідними даними є одна й та сама геометрія: контури гірничих робіт на кожен крок календарного плану, поверхні до і після планування, потужність ґрунтового шару. За допомогою засобів системи K-MINE можливо обчислювати площі та обсяги рекультивації, баланс земляних мас, картограму планування й відомості обсягів робіт за роками – у тому вигляді, у якому вони переходять до кошторису, робочого проєкту землеустрою та фінансової моделі.

Щоб оцінити ефект поетапної рекультивації, виконано розрахунок на модельному прикладі. Умови: строк відпрацювання 20 років, щорічне порушення 8 га (разом 160 га), ставка дисконтування 10 %. Сценарій А – рекультивація після завершення відпрацювання, яка триватиме впродовж трьох років; сценарій Б – поетапна, яка починається з шостого року й виконується паралельно з видобутком. Для розрахунків питома вартість відкладеної рекультивації по сценарію А прийнята на 30 % вищою через повторне перевантаження родючого шару ґрунту, його часткову деградацію за час зберігання та необхідність залучати техніку після повного завершення виробництва.



Рис. 4. Динаміка порушених земель і вартість рекультивації за двома сценаріями (модельний розрахунок)

В результаті встановлено, що сценарій Б краще з технічної точки зору (рис. 4): площа земель у порушеному стані утримується на рівні 40 га впродовж кожних п’яти років замість одномоментного зростання до 160 га на кінець розробки родовища, а номінальні витрати нижчі на 23 %. Проте, за наведеною вартістю співвідношення протилежне: поетапна рекультивація за сценарієм Б потребує на 65 % витрат більше ніж рекультивація на кінець періоду за сценарієм А. Таке удорожчання пояснюється властивістю дисконтування: витрата, віднесена на 23 рік (сценарій А), у поточній вартості становить близько одинадцятої частини номінальної. В такому випадку, економічний критерій сам по собі завжди заохочуватиме відкладати рекультивацію на більш пізні періоди, і жодне вдосконалення методики цього не змінить. Часткову противагу створює віддача землевласнику рекультивованих земель – термін окупності капітальних вкладень у рекультивацію оцінюють приблизно в десять років (Іванов, Біланюк, 2017), – але розриву вона не закриває. Питання вирішується резервним фондом, що формується щороку пропорційно порушеній площі, банківською гарантією або страховим покриттям, а віднесення таких відрахувань до собівартості видобутку є способом узгодити економічний інтерес підприємства з природоохоронним результатом. Таким чином, рекультивація повинна розглядатися як невід’ємний процес від видобутку корисної копалини в процесі геолого-економічної оцінки і мати окреме місце в матеріалах ГЕО з метою відображення реальних фінансових аспектів розробки конкретного родовища.

Дискусія. Новизна полягає у трактуванні графіка рекультивації як обчислюваного зворотного боку календарного плану гірничих робіт, а не як окремого документа, та у

кількісній оцінці розбіжності між натуральним і дисконтованим критеріями вибору сценарію рекультивації. На обговорення виносяться такі питання.

1. **Включення витрат на рекультивацію та закриття у розрахунок економічної ефективності** у матеріалах геолого-економічної оцінки – з обов'язковим розкриттям сценарію (поетапна чи відкладена) та ставки дисконтування.
2. **Механізм фінансового забезпечення.** Оскільки дисконтований критерій заохочує відкладати рекультивацію, потрібен зовнішній механізм – резервний фонд, що формується пропорційно порушеній площі, з віднесенням відрахувань до собівартості.
3. **Заповнення правової прогалини** – доповнення Закону України «Про охорону земель» положеннями щодо рекультивації при геологічному вивченні надр і гірничодобувних роботах або ухвалення окремого закону про рекультивацію земель.
4. **Реєстр закритих і покинутих гірничих виробок** із зафіксованою геометрією на момент припинення робіт. Нині такий облік в Україні не ведеться, тому масштаб проблеми невідомий навіть приблизно.

Висновки.

1. Рекультивація є невід'ємною частиною процесу видобутку корисної копалини і повинна в повній мірі розглядатися в матеріалах ГЕО з метою коректного визначення економічної доцільності розробки родовища згідно РКООН-2019, базуючись в тому числі на робочому проєкті землеустрою щодо рекультивації порушених земель.

2. Графік проведення робіт з рекультивації необхідно розглядати разом з календарним планом, а показники, необхідні для розрахунку обсягів рекультивації та закриття гірничого об'єкту, обчислюються з геометрії гірничих робіт на етапі розробки календарного планування та можуть бути отримані на цифровій моделі.

3. Схему рекультивації диктує форма покладу: на крутоспадних родовищах простір кар'єру зайнятий гірничими роботами до кінця відпрацювання, тому рекультивація відкладається на закриття, тоді як на пластових покладах вона фізично може рухатися слідом за фронтом робіт.

4. На модельному прикладі поетапна рекультивація дає нижчі номінальні витрати (на 23 %) і вчетверо меншу площу земель у порушеному стані, але за ставки 10 % її наведена вартість на 65 % вища за відкладений варіант; ця розбіжність є властивістю дисконтування, а не методики.

Список використаних джерел:

Іванов, Є. А., & Біланюк, В. І. (2017). Проблеми рекультивації і ревіталізації земель, порушених гірничими роботами. У *Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування: матеріали Четвертої міжнародної науково-практичної конференції* (Т. 2, с. 262–270). ДКЗ.

Качановський, О. І. (2020). Екологічні проблеми використання земельних ресурсів в умовах інтенсивного видобутку корисних копалин. *Екологічні науки, 1*(28), 138–143. https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.1-28.21

Куліковська, О. Є., & Катушков, В. О. (2022). Інженерно-геодезичний супровід визначення параметрів і напрямів рекультивації порушених земель у гірничодобувному регіоні. *Містобудування та територіальне планування, 79*, 212–225. https://doi.org/10.32347/2076-815x.2022.79.212-225

Мачуська, І. Б., Тітова, В. М., & Аргатюк, І. В. (2024). Рекультивація земель у сфері надрокористування в Україні: теоретико-правовий аналіз. *Аналітично-порівняльне правознавство, 4*, 271–275. https://doi.org/10.24144/2788-6018.2024.04.42

Хохотва, О., & Ковальова, О. (2023). Екологічні аспекти припинення діяльності кар'єрів. У *Екологія. Людина. Суспільство: матеріали XXIII Міжнародної науково-практичної конференції* (с. 253–258). КПІ ім. Ігоря Сікорського. https://doi.org/10.20535/EHS2710-3315.2023.290958

International Council on Mining and Metals. (2019). *Integrated mine closure: Good practice guide* (2nd ed.). ICMM. https://www.icmm.com

United Nations Economic Commission for Europe. (2020). *United Nations Framework Classification for Resources: Update 2019* (ECE Energy Series No. 61). United Nations. https://unece.org

References

International Council on Mining and Metals. (2019). *Integrated mine closure: Good practice guide* (2nd ed.). ICMM. https://www.icmm.com

Ivanov, Ye. A., & Bilaniuk, V. I. (2017). Problems of reclamation and revitalisation of land disturbed by mining. In *Subsoil Use in Ukraine. Investment Prospects: Proceedings of the Fourth International Scientific and Practical Conference* (Vol. 2, pp. 262–270). SCMR. [in Ukrainian]

Kachanovskyi, O. I. (2020). Environmental problems of the use of land resources under intensive mineral extraction. *Ekolohichni Nauky, 1*(28), 138–143. https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.1-28.21 [in Ukrainian]

Khokhotva, O., & Kovalova, O. (2023). Environmental aspects of quarry closure. In *Ecology. Human. Society: Proceedings of the XXIII International Scientific and Practical Conference* (pp. 253–258). Igor Sikorsky KPI. https://doi.org/10.20535/EHS2710-3315.2023.290958 [in Ukrainian]

Kulikovska, O. Ye., & Katushkov, V. O. (2022). Engineering and geodetic support for determining the parameters and directions of reclamation of disturbed land in a mining region. *Mistobuduvannia ta Terytorialne Planuvannia, 79*, 212–225. https://doi.org/10.32347/2076-815x.2022.79.212-225 [in Ukrainian]

Machuska, I. B., Titova, V. M., & Arhatiuk, I. V. (2024). Land reclamation in the sphere of subsoil use in Ukraine: A theoretical and legal analysis. *Analitychno-Porivnialne Pravoznavstvo, 4*, 271–275. https://doi.org/10.24144/2788-6018.2024.04.42 [in Ukrainian]

United Nations Economic Commission for Europe. (2020). *United Nations Framework Classification for Resources: Update 2019* (ECE Energy Series No. 61). United Nations. https://unece.org

УДК 553.04

ТРАНСФОРМАЦІЯ СИСТЕМИ ОЦІНКИ ТА КЛАСИФІКАЦІЇ МІНЕРАЛЬНИХ РЕСУРСІВ В УКРАЇНІ: ГЕОСТАТИСТИЧНІ МЕТОДИ ТА МІЖНАРОДНІ ПРИНЦИПИ ЗВІТНОСТІ

Король Н.О., *nata@k-mine.com,*
Назаренко М.В., *mvn967@gmail.com,* ***Мороз О.В.,***
Група компаній K-MINE, м. Кривий Ріг, Україна

У статті розглянуто напрями поступової адаптації національної системи оцінки та класифікації мінеральних ресурсів і запасів України до принципів міжнародної звітності CRIRSCO із збереженням функцій державного обліку та регулювання надрокористування. Проаналізовано співвідношення підходів ДКЗ України, UNFC та CRIRSCO, зокрема роль геологічної вивченості, техніко-економічної опрацьованості та економічної перспективності проєкту під час класифікації мінеральних ресурсів і запасів. Обґрунтовано необхідність переходу від формального використання геометричних критеріїв та категорій запасів до комплексної оцінки якості вихідних даних, геологічної безперервності та невизначеності оцінки. Запропоновано використовувати геостатистичні показники, зокрема параметри варіограм, просторову конфігурацію та репрезентативність проб, Kriging Variance і Kriging Efficiency, як кількісні індикатори для обґрунтування рівня геологічної впевненості. Окрему увагу приділено застосуванню QA/QC, принципу Reasonable Prospects for Eventual Economic Extraction (RPEEE) та професійної відповідальності Competent Person / Qualified Person. Показано, що інтеграція зазначених підходів у національну практику може забезпечити більш прозору, відтворювану та порівнювану оцінку мінеральних ресурсів і запасів, а також створити основу для їх подальшого зіставлення з UNFC та міжнародними стандартами звітності CRIRSCO.

Ключові слова: геолого-економічна оцінка, UNFC, блокова модель, K-MINE, геостатистичне моделювання, шаблон CRIRSCO.

TRANSFORMING UKRAINE'S MINERAL RESOURCE ESTIMATION AND CLASSIFICATION SYSTEM: GEOSTATISTICAL METHODS AND INTERNATIONAL REPORTING PRINCIPLES

Korol N., *nata@k-mine.com,*
Nazarenko M.*, mvn967@gmail.com,* ***Moroz O.,***
K-MINE Group of Companies, Kryvyi Rih, Ukraine

This paper examines how Ukraine's national system for estimating and classifying mineral resources and reserves can be gradually adapted to the principles of CRIRSCO-aligned international reporting while retaining its functions of state resource accounting and subsoil-use regulation. It analyses the relationship between the approaches used by the State Commission of Ukraine on Mineral Reserves (SCMR), UNFC, and CRIRSCO, with particular attention to the role of geological knowledge, the level of technical and economic evaluation, and the economic prospects of a project in the classification of mineral resources and reserves.

The need to move from the formal use of geometric criteria and reserve categories towards a comprehensive assessment of input data quality, geological continuity, and estimation uncertainty is substantiated. Geostatistical indicators, including variogram parameters, the spatial configuration and representativeness of samples, Kriging Variance, and Kriging Efficiency, are proposed as quantitative measures to support the assessment of geological confidence.

Particular attention is given to QA/QC, the Reasonable Prospects for Eventual Economic Extraction (RPEEE) principle, and the professional responsibility of the Competent Person / Qualified Person. Integrating these approaches into national practice can provide a more transparent, reproducible, and comparable basis for estimating mineral resources and reserves, while also establishing a basis for their subsequent alignment with UNFC and international CRIRSCO reporting standards.

Keywords: geological and economic assessment, UNFC, block model, K-MINE, geostatistical modelling, CRIRSCO template.

Вступ. Гірничодобувна промисловість України володіє потужним потенціалом і колосальними обсягами запасів корисних копалин, накопичених за десятиліття масштабних геологорозвідувальних робіт. Проте сучасний етап глобалізації економіки, розвиток ринків капіталу та підвищені вимоги міжнародних інвесторів зумовлюють необхідність гармонізації традиційних підходів до оцінки та класифікації мінеральних ресурсів і запасів із принципами, що застосовуються в сучасній міжнародній практиці публічної звітності.

Вітчизняна система тривалий час базувалася на директивно-методичних принципах, де акцент робився на фіксованих геометричних мережах розвідувальних свердловин та ручному оконтурюванні. У той самий час глобальна практика чітко свідчить: вихід компаній на міжнародні фондові біржі (LSE, TSX, AIM, AIX), залучення проєктного фінансування від провідних банків чи укладання партнерських угод із транснаціональними гірничими корпораціями неможливі без повної гармонізації звітності до стандартів групи CRIRSCO (JORC, KAZRC, NI 43-101, S-K 1300 тощо).

Тому наразі в нашій державі актуальними є визначення проблематики використання універсальних класифікацій та еволюція нормативної бази ДКЗ України, а також обґрунтування необхідності переходу до сучасних геостатистичних методів оцінки ресурсів і оптимізації розвідувальних мереж.

Виклад основного матеріалу. Протягом тривалого часу в Україні здійснювалися спроби адаптації вітчизняної системи обліку запасів до міжнародних вимог через гармонізацію з Рамковою класифікацією ООН (РКООН / UNFC). Але важливо розуміти природу і призначення цієї системи: РКООН (UNFC) — це глобальна, універсальна рамкова система, розроблена під егідою Європейської економічної комісії ООН для держав, урядів і наднаціональних союзів (наприклад, для забезпечення європейського закону про критичну сировину Critical Raw Materials Act, моніторингу стратегічних запасів чи екологічної звітності). Нею користуються міністерства та геологічні служби, але UNFC не є основним стандартом публічної звітності про Mineral Resources та Mineral Reserves для цілей залучення капіталу на фондових ринках.

Якщо розглядати європейський досвід, UNFC не існує у вакуумі — вона безконфліктно гармонізована з кодексами родини CRIRSCO через офіційний документ зв'язку (UNFC-CRIRSCO Bridging Document). Тобто європейські гірничі проєкти спочатку оцінюються за CRIRSCO-сумісними стандартами (наприклад, європейським стандартом PERC або JORC), які гарантують:

- Суворий контроль якості (QA/QC): застосування сертифікованих стандартних зразків (CRM), холостих проб (blanks), дублікатів, контрольних та незалежних перевірочних аналізів, а також оцінювання точності, прецизійності та можливого систематичного зміщення аналітичних результатів.
- Критерій RPEEE (Reasonable Prospects for Eventual Economic Extraction) що передбачає обґрунтування перспектив економічного вилучення мінеральної сировини з урахуванням геологічних, гірничотехнічних, технологічних, інфраструктурних, правових, екологічних, маркетингових та економічних факторів. Cut-off grade при цьому є одним із параметрів економічного обґрунтування, але не є тотожним RPEEE.
- Сучасне геостатистичне моделювання: перехід від ручного підрахунку до блочних моделей та кригінгу.

Саме тому комерційні банки, інвестори та інші фінансові установи (ЄБРР, IFC тощо) при оцінці гірничих проєктів не розглядають цифрові коди UNFC, такі як «111» або «121», як самостійний критерій інвестиційного чи кредитного рішення. Для них принципово важливо, щоб Mineral Resources та Mineral Reserves були належним чином оцінені, класифіковані та розкриті відповідно до застосовного стандарту публічної звітності, сумісного з принципами CRIRSCO, а економічна доцільність та технічна реалізованість проєкту були підтверджені відповідними техніко-економічними дослідженнями (PFS / DFS).

У результаті виходить, що UNFC в Європі допомагає державі бачити реальну картину лише тому, що фундаментальна база повністю побудована на стандартах CRIRSCO. Сама ж система класифікації UNFC виконує суто макростатистичну та управлінську роль для державного балансу, але не є інструментом залучення ринкового капіталу.

Відображення мінеральних ресурсів і запасів, класифікованих відповідно до CRIRSCO, у класи та коди UNFC базується на оцінці трьох незалежних, але взаємопов’язаних осей: E (економічна життєздатність), F (ступінь техніко-економічної

опрацьованості та готовності проєкту) та G (рівень геологічної вивченості). Відповідно, співвідношення категорій CRIRSCO з кодами UNFC визначається не лише категорією геологічної впевненості, а й стадією проєкту та підтвердженою економічною життєздатністю. Орієнтовне співвідношення категорій CRIRSCO та класів UNFC залежно від типу оцінки та стадії проєкту наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Орієнтовне співвідношення категорій CRIRSCO та класів UNFC залежно від типу оцінки та стадії проєкту

Стадія проєкту	Категорія CRIRSCO	UNFC	Розшифрування	Пояснення / умови застосування
Scoping Study / MRE	**Inferred Mineral Resources**	**223**	**E2 + F2 + G3**	Потенційно економічні; проєкт на стадії попереднього техніко-економічного опрацювання; низька геологічна впевненість. **До Mineral Reserves не переводяться.**
	Indicated Mineral Resources	**222**	**E2 + F2 + G2**	Потенційно економічні; F2 — проєкт ще не досяг рівня F1; середня геологічна впевненість. Залишаються Resources, якщо Modifying Factors ще не дозволяють визначити Reserve.
	Measured Mineral Resources	**221**	**E2 + F2 + G1**	Потенційно економічні; F2; висока геологічна впевненість. Висока G-впевненість **сама по собі не означає Reserve**.
PFS / Pre-Feasibility Study	**Inferred Mineral Resources**	**223**	**E2 + F2 + G3**	Inferred Resources залишаються поза Mineral Reserves через недостатню геологічну впевненість.
	Indicated Mineral Resources	**222**	**E2 + F2 + G2**	Можуть бути основою для Probable Reserve, **але тільки після застосування Modifying Factors і підтвердження економічної видобувності**.
	Measured Mineral Resources	**221**	**E2 + F2 + G1**	Можуть бути основою для Proved або Probable Reserve залежно від впевненості у Modifying Factors.
	Probable Mineral Reserves	**222 + 122**	**E2/F2/G2 + E1/F2/G2**	Економічно видобувна частина Resource після застосування Modifying Factors; відповідає Probable Reserve.
	Proved Mineral Reserves	**221 + 121**	**E2/F2/G1 + E1/F2/G1**	Економічно видобувна частина Measured Resource з високою впевненістю в Modifying Factors.
FS / DFS / LOM Plan	**Inferred Mineral Resources**	**213**	**E2 + F1 + G3**	Навіть за високого рівня техніко-економічного опрацювання Inferred Resources **не стають Reserves** через недостатню геологічну впевненість.
	Indicated Mineral Resources, не конвертовані в Reserve	**212**	**E2 + F1 + G2**	Частина Indicated Resource може залишатися Resource, якщо після застосування Modifying Factors вона не входить до економічно видобувної частини затвердженого/прийнятого mine plan.
	Measured Mineral Resources, не конвертовані в Reserve	**211**	**E2 + F1 + G1**	Частина Measured Resource може залишатися Resource з економічних, гірничотехнічних, металургійних, правових, екологічних, інфраструктурних або інших причин.

Стадія проєкту	Категорія CRIRSCO	UNFC	Розшифрування	Пояснення / умови застосування
	Probable Mineral Reserves	**112**	**E1 + F1 + G2**	Економічно вигідна частина Indicated Resource або, у певних випадках, Measured Resource; усі суттєві Modifying Factors враховані на необхідному рівні.
	Proved Mineral Reserves	**111**	**E1 + F1 + G1**	Економічно видобувна частина Measured Resource; найвищий рівень впевненості як у Resource, так і в Modifying Factors.

***Примітка**. Наведене співвідношення є відображенням відповідно до CRIRSCO–UNFC Bridging Document і не є механічним правилом конвертації категорій CRIRSCO у коди UNFC або навпаки.*

З огляду на це, логічним і нагальним кроком є не просто формальне співставлення категорій через рамкові таблиці, а поетапна інтеграція та впровадження принципів міжнародних кодексів безпосередньо в чинні інструкції та методичні рекомендації Державної комісії України по запасах корисних копалин (ДКЗ). Такий конструктивний підхід дозволить поєднати державні вимоги з принципами міжнародної звітності та ринковими очікуваннями інвесторів, підвищуючи прозорість, відтворюваність і інвестиційну зрозумілість оцінки мінерально-сировинних активів.

Спроби механічно переносити історичні радянські категорії (А, В, C_1, C_2) у міжнародні категорії або покладатися виключно на формальні таблиці відповідності без зміни самої методології оцінки не забезпечують міжнародної прийнятності результату. Це обумовлено тим, що потенційний інвестор та незалежний технічний аудитор оцінюють не лише заявлену категорію і обсяг ресурсів чи запасів, а **й якість вихідних даних, обґрунтованість геологічної моделі, методи оцінки, рівень невизначеності та економічні припущення**. Тому навіть за наявності актуального Протоколу ДКЗ історична оцінка, підготовлена за іншими методологічними принципами, може потребувати додаткової технічної перевірки та адаптації до вимог міжнародної звітності.

Основні чинники, які зумовлюють необхідність такої адаптації, включають:

1. **Ефект згладжування та усереднення**.

Традиційні методи оцінки часто базувалися на визначенні середньозважених значень для блоків, ділянок або геологічних розрізів. Саме усереднення не є методологічним недоліком, однак його застосування без належного врахування просторової структури мінералізації може призводити до надмірного згладжування локальної мінливості вмісту. У результаті може спотворюватися характер розподілу корисного компонента та рівень невизначеності оцінки.

2. **Невідповідність сучасним принципам QA/QC**.

Історичні геологічні бази даних зазвичай не містять повної документації щодо сучасних процедур контролю якості аналітичних даних, зокрема використання сертифікованих стандартних зразків (CRM), холостих проб (blanks), дублікатів, контрольних та незалежних перевірочних аналізів. Відсутність або недостатня документованість таких процедур ускладнює підтвердження точності, відтворюваності та надійності історичних аналітичних результатів і, відповідно, обґрунтування високих категорій ресурсів.

3. **Застарілі принципи оконтурювання**.

Історичні контури мінералізації часто визначалися переважно за геометричними правилами, без достатнього врахування просторової мінливості зруденіння та його геологічної безперервності. Сучасний підхід передбачає формування обґрунтованої геологічної моделі та подальшу оцінку економічно перспективної частини мінералізації з урахуванням відповідних технічних і гірничо-економічних параметрів, зокрема Cut-off grade, що є важливим для демонстрації RPEEE (Reasonable Prospects for Eventual Economic Extraction).

Таким чином, проблема полягає не в самій історичній системі категоризації, а в тому, що формальне перекодування кінцевого результату не усуває методологічних відмінностей у способі його отримання. Для міжнародної звітності необхідна простежувана й відтворювана система оцінки, у якій категорія ресурсу є результатом комплексного аналізу якості даних, геологічної безперервності, методів оцінки та пов'язаної з ними невизначеності.

Саме на цьому етапі виникає ключове питання: як перейти від формального присвоєння категорій до кількісно обґрунтованої оцінки рівня геологічної впевненості? Відповідь на нього значною мірою пов'язана із застосуванням геостатистичних методів, які дозволяють врахувати не лише кількість і щільність вихідних даних, а й закономірності їх просторового розподілу.

Сучасна класифікація мінеральних ресурсів не повинна зводитися до механічного оконтурювання мінералізації за фіксованою мережею свердловин або до формального віднесення блоків до певної категорії залежно від відстані між свердловинами. Геологічна впевненість визначається комплексом взаємопов'язаних факторів, серед яких якість первинних даних, щільність і просторова конфігурація опробування, геологічна безперервність мінералізації, характер її просторової мінливості, метод оцінки та рівень невизначеності отриманих результатів.

Геостатистика забезпечує кількісні інструменти для дослідження цих характеристик. Вона дозволяє перейти від простого аналізу відстаней між свердловинами до оцінки реальної просторової безперервності мінералізації та визначення того, наскільки наявна мережа опробування здатна забезпечити надійну локальну оцінку.

Одним із ключових елементів такого аналізу є варіографія. Варіограма дозволяє описати просторову структуру мінливості показника та визначити основні параметри, що характеризують її: ефект самородка (Nugget Effect), поріг варіограми (Sill), діапазон просторової кореляції (Range) та напрямки анізотропії. **Range** характеризує масштаб просторової безперервності, у межах якого між значеннями показника зберігається статистично підтверджена взаємозалежність. Визначення цих параметрів обґрунтовує форму й розмір еліпсоїда пошуку для 3D-інтерполяції.

Ключові параметри геостатистичної оцінки є:

1. **Діапазон просторової безперервності** — Range.

Range характеризує характерний масштаб просторової кореляції, визначений прийнятою моделлю варіограми, за межами якого внесок структурної просторової кореляції у варіацію показника істотно зменшується. Його співвідношення з фактичною щільністю опробування дозволяє оцінити, наскільки мережа буріння відповідає природній просторовій структурі родовища.

2. Просторове розташування та репрезентативність проб

Для надійної локальної оцінки важлива не лише кількість вихідних проб, але й їх розподіл навколо оцінюваного блоку. Концентрація проб лише з одного боку може призводити до однобічного контролю та збільшення невизначеності.

Тому в алгоритмах пошуку можуть застосовуватися обмеження за секторами, октантами або іншими просторовими напрямками. Їхнє призначення полягає не у формальному присвоєнні категорії, а у контролі репрезентативності вихідної вибірки та запобіганні ситуаціям, коли оцінка базується на однобічному просторовому оточенні.

3. **Кригінгова дисперсія**

Одним із кількісних показників, що характеризують результат локальної геостатистичної невизначеності, є Kriging Variance. Вона відображає невизначеність, пов'язану з просторовою конфігурацією вихідних даних у межах прийнятої геостатистичної моделі.

Низькі значення кригінгової дисперсії, за інших рівних умов, відповідають кращому просторовому контролю оцінюваного блоку, тоді як її підвищення свідчить про зростання невизначеності.

4. Ефективність кригінгової оцінки — Kriging Efficiency (KE)

Додатковим показником може виступати Kriging Efficiency (KE), який характеризує ефективність використання просторової інформації для локальної оцінки. Він може бути використаний для порівняння різних ділянок моделі та виявлення зон, у яких конфігурація вихідних даних забезпечує різний рівень просторового контролю.

На практиці для обґрунтування категорій ресурсів може використовуватися сукупність усіх наведених вище геостатистичних орієнтирів. Відповідно до рівня просторової забезпеченості даними, якості геологічного контролю та невизначеності оцінки можуть застосовуватися такі практичні орієнтири геостатистичного підходу:

Measured Resources — висока впевненість. Блок оцінюється в умовах щільного просторового контролю: основна частина оцінювальних проб розташована на відстані до 1/3–1/2 Range, при цьому проби представлені щонайменше у 6 з 8 октантів пошукового околу. Значення KE > 0,70 розглядається як додаткове підтвердження високої ефективності оцінки, а Kriging Variance характеризує низьку невизначеність.

Indicated Resources — помірна впевненість. Оцінка виконується при відстані до проб приблизно 0,5–1,0 Range, із просторовим представництвом проб щонайменше у 4 з 8 октантів або не менше ніж у двох просторових секторах. KE = 0,50–0,70 відповідає помірному рівню ефективності оцінки; невизначеність є вищою порівняно з Measured.

Inferred Resources — нижча впевненість. Пошуковий простір розширюється приблизно до 1–2 Range. Жорстка вимога щодо кількості заповнених октантів не встановлюється; оцінка може базуватися на пробах із 1–2 секторів за умови наявності обґрунтованої геологічної безперервності мінералізації. Значення KE ≤ 0,50 та підвищена Kriging Variance є додатковими індикаторами більшої невизначеності.

Наведені порогові значення не є нормативними вимогами JORC, PERC, KAZRC або UNFC. Вони пропонуються як практичні геостатистичні орієнтири для обґрунтування рівня геологічної впевненості та мають адаптуватися до типу родовища, характеру мінералізації, просторової мінливості, геометрії доменів, прийнятого методу оцінки та результатів валідації.

Таким чином, інтеграція геостатистичних методів у систему класифікації мінеральних ресурсів дає змогу перейти від формального присвоєння категорій до їх кількісно обґрунтованого та відтворюваного визначення. Поєднання показників просторової безперервності, репрезентативності вихідних даних, Kriging Variance та Kriging Efficiency створює прозору основу для оцінки рівня геологічної впевненості та доповнює експертне судження об'єктивними кількісними критеріями.

Пошук балансу між вітчизняною системою обліку запасів і вимогами міжнародних ринків капіталу не потребує радикальної перебудови національної системи. Чинна система ДКЗ виконує функцію державного обліку та відповідних процедур оцінки й експертизи запасів відповідно до національної нормативної бази. Водночас для підвищення зрозумілості результатів оцінки для міжнародних інвесторів, банків, фондів та інших учасників ринку методологію її підготовки доцільно поступово доповнювати сучасними підходами, сумісними з принципами CRIRSCO.

Практичним ключем до такої інтеграції є послідовний підхід, за якого національна система класифікації мінеральних ресурсів і запасів поступово адаптується до принципів та вимог сімейства CRIRSCO.

Така адаптація передбачає поетапне вдосконалення критеріїв геологічної достовірності, врахування модифікуючих факторів, застосування принципу RPEEE та посилення вимог до професійної відповідальності за підготовку та розкриття результатів оцінки. При цьому адаптація не повинна означати автоматичного перенесення окремих положень CRIRSCO-кодексів у національну нормативну систему без урахування її юридичної структури. Доцільним є поетапне запровадження сумісних принципів і процедур із чітким визначенням сфери їх застосування.

Це дозволяє поступово наближати національну практику до міжнародних принципів звітності та вимог ринку капіталу, забезпечуючи водночас можливість прозорого співставлення результатів оцінки з кодами Рамкової класифікації UNFC для державних, статистичних та європейських інформаційних завдань.

М'яка інтеграція цих принципів в українську практичну геологію може здійснюватися через такі кроки:

1. **Базова класифікація за принципами CRIRSCO**: формування прозорої структури виділення ресурсів та запасів, зрозумілої для міжнародних інвесторів, фондових ринків і фінансових установ. У межах української системи оцінки доцільно передбачити категоризацію мінеральних ресурсів за рівнем геологічної впевненості:
   - Inferred Mineral Resources
   - Indicated Mineral Resources
   - Measured Mineral Resources

Після врахування Modifying Factors та підтвердження економічної доцільності відповідна частина ресурсів може класифікуватися як:

- Probable Mineral Reserves
- Proved Mineral Reserves

Таким чином, йдеться не про проведення двох паралельних оцінок за національною та міжнародною системами, а про поступове приведення національної методології оцінки та класифікації до принципів, сумісних із CRIRSCO.

2. **Впровадження геостатистичного обґрунтування категорій:** використання варіографічного аналізу, оцінки просторової безперервності, аналізу октантів, Kriging Variance та Kriging Efficiency у технічних звітах для ДКЗ дозволяє доповнити традиційні критерії категоризації кількісними показниками, що забезпечують математичну обґрунтованість і прозорість оцінки. Доцільним є також включення результатів валідації блокової моделі та аналізу чутливості оцінки до параметрів пошуку й варіограмної моделі.

3. **Удосконалення системи контролю якості (QA/QC)**: поступове приведення процедур відбору, підготовки та аналізу проб, а також контролю аналітичних результатів до сучасних міжнародних практик QA/QC для підвищення надійності геологічної інформації.

4. **Залучення та професійна відповідальність Компетентної особи (CP / QP)**: передбачення можливості незалежної професійної оцінки якості та достатності вихідних геологічних даних, застосованих методів оцінки та обґрунтованості визначених категорій. Висновок Компетентної особи може оформлюватися як додаток до протоколу або технічного звіту, із зазначенням обсягу проведеної перевірки та відповідальності за наданий висновок.

У перспективі доцільним є формування в Україні національного інституту професійного визнання Компетентних осіб, сумісного з принципами CRIRSCO, із визначенням вимог до відповідної освіти, професійного досвіду, спеціалізації, етичних норм та механізмів професійної відповідальності. При цьому статус Компетентної особи не повинен автоматично пов'язуватися з членством у конкретній іноземній професійній організації.

Наявність такого механізму професійної відповідальності може підвищити прозорість і відтворюваність результатів оцінки та створити додатковий механізм узгодження національної практики з принципами міжнародної публічної звітності.

5. **Прозоре співставлення з UNFC**: використання результатів оцінки для їх зіставлення з відповідними категоріями Рамкової класифікації UNFC та формування міжнародних рамкових матриць і звітів відповідно до офіційних документів з гармонізації.

Висновки. Трансформація підходів до оцінки мінеральних ресурсів в Україні є природним етапом інтеграції вітчизняної геологічної галузі у глобальну економіку. Рамкова класифікація UNFC виконує важливу функцію у сфері державного, статистичного та макроекономічного обліку, тоді як система ДКЗ залишається основою національного

регулювання надрокористування. Водночас для виходу на міжнародні ринки капіталу зростає значення принципів CRIRSCO, сучасного геостатистичного моделювання, належного QA/QC та прозорого обґрунтування економічної перспективності проєктів відповідно до принципу RPEEE.

Перспективним напрямом є формування в межах національної системи класифікації структури, сумісної з CRIRSCO, у якій рівень геологічної впевненості ресурсів характеризується категоріями Inferred, Indicated та Measured, а економічно видобувна частина ресурсів після врахування відповідних Modifying Factors може бути віднесена до Probable або Proved Mineral Reserves.

Така модель не передбачає проведення двох паралельних оцінок — за національною та міжнародною системами. Йдеться про вдосконалення єдиної системи оцінки, результати якої можуть використовуватися для державного обліку та експертизи, а за відповідності встановленим вимогам — для підготовки CRIRSCO-сумісної публічної звітності.

Поєднання національної нормативної бази ДКЗ із поступово адаптованими принципами CRIRSCO, сучасними геостатистичними методами та прозорою системою QA/QC дозволить підвищити порівнюваність і довіру до результатів оцінки, спростити їх незалежну перевірку та створити основу для одночасного використання результатів у національній системі надрокористування і міжнародній звітності. Водночас результати такої оцінки можуть бути прозоро співставлені з відповідними кодами UNFC для цілей, визначених сферою застосування цієї класифікації. Таким чином, запропонований підхід формує функціональний зв'язок між ДКЗ, принципами CRIRSCO та UNFC без необхідності механічного перекодування або повторної оцінки одного й того самого мінерального об'єкта.

Список використаних джерел:

1. Clark, I. (1979). *Practical Geostatistics*. Applied Science Publishers Ltd.
2. Committee for Mineral Reserves International Reporting Standards (CRIRSCO). (2019). *International Reporting Template for the Public Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Mineral Reserves*.
3. Emery, X., & Séguret, S. (2019). *Geostatistics for the Mining Industry*. Springer.
4. Joint Ore Reserves Committee (JORC). (2012). *Australasian Code for Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Ore Reserves (The JORC Code, 2012 Edition)*.
5. United Nations Economic Commission for Europe (UNECE). (2019). *United Nations Framework Classification for Resources: Update 2019*. United Nations.
6. United Nations Economic Commission for Europe (UNECE). (n.d.). *Bridging Document between the United Nations Framework Classification for Resources (UNFC) and the CRIRSCO Template*. United Nations.
7. Кодекс України про надра. (1994). *Відомості Верховної Ради України*, 36, 340.
8. Рудько, Г. І., Назаренко, М. В., Хоменко, С. А., Нецький, О. В., та ін. (2011). *Геоінформаційні технології в надрокористуванні (на прикладі ГІС K-MINE)*. Академпрес.

References

1. Clark, I. (1979). *Practical Geostatistics*. Applied Science Publishers Ltd.
2. Committee for Mineral Reserves International Reporting Standards (CRIRSCO). (2019). *International Reporting Template for the Public Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Mineral Reserves*.
3. Emery, X., & Séguret, S. (2019). *Geostatistics for the Mining Industry*. Springer.
4. Joint Ore Reserves Committee (JORC). (2012). *Australasian Code for Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Ore Reserves (The JORC Code, 2012 Edition)*.
5. Rudko, H. I., Nazarenko, M. V., Khomenko, S. A., Netskyi, O. V., et al. (2011). *Heoinformatsiini tekhnolohii v nadrokorystuvanni (na prykladi HIS K-MINE)* [Geoinformation technologies in subsoil use (based on K-MINE GIS)]. Akadempres.

6. Subsoil Code of Ukraine. (1994). *Bulletin of the Verkhovna Rada of Ukraine*, 36, 340.
7. United Nations Economic Commission for Europe (UNECE). (2019). *United Nations Framework Classification for Resources: Update 2019*. United Nations.
8. United Nations Economic Commission for Europe (UNECE). (n.d.). *Bridging Document between the United Nations Framework Classification for Resources (UNFC) and the CRIRSCO Template*. United Nations.

УДК 553.04

ПРОЄКТНА ЗРІЛІСТЬ У СИСТЕМІ UNFC: ОЦІНКА ВИДОБУВНИХ ПРОЄКТІВ

Курило М.М.*[1,2]*, *д. геол. н., m.kurylo@pobuzhye.com.ua;*
Андрєєва О.О.*[2]*, *к. геол. н., olena.andreeva@geologists.org;*
1 – BGV Group management, Київ, Україна,
2 – Спілка геологів України

У роботі розглянуто можливості застосування Рамкової класифікації ресурсів Організації Об'єднаних Націй (United Nation Framework Classification UNFC) для оцінки проєктної зрілості видобувних проєктів. На відміну від підходів, орієнтованих переважно на кількісну характеристику ресурсів і запасів, UNFC дозволяє одночасно враховувати екологічну, соціальну та економічну життєздатність проєкту, рівень його технічної здійсненності та зрілості, а також ступінь достовірності оцінки кількості продукції. Показано, що ключовим для аналізу розвитку видобувного проєкту є не лише присвоєння класу UNFC, але й визначення факторів, що обмежують його перехід до наступної стадії. Запропоновано використовувати зміни категорій за осями E, F і G як індикатори прогресу проєкту та інструмент ідентифікації геологічних, технологічних, економічних, екологічних, регуляторних та інших ризиків. Для українських родовищ такий підхід може бути особливо корисним для визначення фактичного рівня готовності проєктів із затвердженими запасами до залучення інвестицій і промислового освоєння.

Ключові слова: UNFC, проєктна зрілість, видобувний проєкт, ресурси і запаси, критичні мінерали, управління ризиками.

PROJECT MATURITY IN UNFC: ASSESSMENT OF MINING PROJECTS

Kurylo M.*[1]*, *Dr. Sci. (Geol.), m.kurylo@pobuzhye.com.ua;*
Andreeva O.*[2]*, *Cand. Sci. (Geol.), olena.andreeva@geologists.org;*
1 – Chief Geologist, BGV Group Management, Kyiv, Ukraine,
2 – Chair of the Ukrainian Association of Geologists

The paper considers the application of the United Nations Framework Classification for Resources (UNFC) as a tool for assessing the maturity of mining projects. Unlike approaches focused primarily on the quantitative assessment of mineral resources and reserves, UNFC simultaneously considers environmental-socio-economic viability, technical feasibility and maturity, and the degree of confidence in estimates of quantities associated with a project. It is demonstrated that project assessment should focus not only on assigning a UNFC class but also on identifying the factors preventing a project from progressing to the next development stage. Changes in the E, F and G categories can therefore be used as indicators of project progression and as a framework for identifying geological, technological, economic, environmental, regulatory and other risks. For Ukrainian mineral deposits, this approach can be particularly useful for distinguishing between the formal availability of approved reserves and the actual readiness of a mining project for investment and development. Project maturity assessment using UNFC provides a common framework for monitoring project progress, identifying critical gaps and prioritising further studies.

Keywords: UNFC, project maturity, mining project, mineral resources and reserves, critical minerals, risk management.

Вступ. Оцінка родовищ корисних копалин традиційно базується на визначенні кількості, якості та ступеня геологічної вивченості. Проте для прийняття рішення щодо промислового освоєння цих характеристик недостатньо. Два родовища з подібними запасами можуть мати принципово різний рівень готовності до реалізації залежно від технологічної вивченості, економічних умов, дозвільного статусу, інфраструктури, екологічних та соціальних факторів.

Рамкова класифікація ресурсів Організації Об'єднаних Націй (United Nations Framework Classification for Resources UNFC) створює можливість розглядати ресурс не ізольовано, а у зв'язку з конкретним проєктом його освоєння. У системі UNFC класифікація здійснюється одночасно за трьома критеріями: екологічною, соціальною та економічною життєздатністю - вісь E; технічною здійсненністю та зрілістю проєкту - вісь F; ступенем достовірності оцінки кількості продукції - вісь G (*UNECE*, 2019, 2021, 2025).

Об’єктом оцінки фактично стає не тільки геологічне тіло або кількість корисної копалини у надрах, а проєкт, здатний перетворити відповідний ресурс на корисний продукт.

Метою роботи є обґрунтування використання UNFC як інструменту оцінки проєктної зрілості видобувних проєктів, визначення основних факторів переходу між стадіями їх розвитку та можливостей застосування такого підходу для українських родовищ.

Проєкт як базовий об’єкт оцінки в UNFC

Однією з принципових особливостей UNFC є проєктно-орієнтований підхід. Кількість корисної копалини оцінюється у контексті конкретного сценарію її освоєння, технологічного рішення та очікуваної продукції. Тому одна й та сама геологічна база потенційно може бути пов’язана з різними проєктами, якщо вони передбачають різні технології видобування, переробки, масштаби виробництва або кінцеві продукти.

У цьому контексті поняття *проєктної зрілості* характеризує ступінь, до якого проєкт просунувся від початкової концепції та геологічного потенціалу до технічно обґрунтованого, економічно життєздатного, дозволеного до реалізації та фактично діючого виробництва.

Для оцінки такого прогресу три осі UNFC виконують різні функції (*UNECE*, 2019, 2021, 2025):

- вісь E характеризує умови, за яких проєкт може бути реалізований з урахуванням економічних, екологічних, соціальних, правових і регуляторних факторів;
- вісь F відображає рівень технічної здійсненності та зрілості проєкту, включаючи ступінь виконання необхідних технічних досліджень і готовність до реалізації;
- вісь G характеризує ступінь достовірності оцінки кількостей, пов’язаних із проєктом.

Саме поєднання цих трьох критеріїв дозволяє відрізнити наявність ресурсу від зрілості проєкту його освоєння.

Вісь F як індикатор стадії розвитку проєкту

Найбільш безпосередньо проєктну зрілість характеризує вісь F. У її межах простежується перехід від ранніх стадій оцінки та концептуальних рішень до проєктів, обґрунтованих для розробки, схвалених до реалізації або таких, що вже перебувають у виробництві. У практичному використанні UNFC стадії розвитку можна представити у вигляді послідовності:

1. геологічна концепція / початкова оцінка
2. дослідження можливості освоєння
3. попереднє техніко-економічне обґрунтування
4. техніко-економічне обґрунтування
5. обґрунтований до реалізації проєкт
6. схвалений проєкт
7. проєкт у виробництві.

При цьому рух уздовж осі F не є автоматичним наслідком збільшення кількості геологічних даних. Перехід проєкту на більш високий рівень зрілості потребує отримання достатньої інформації щодо технології, гірничотехнічних рішень, інфраструктури, продуктивності, капітальних та операційних витрат та інших параметрів. Отже, збільшення геологічної вивченості та підвищення проєктної зрілості є пов’язаними, але не тотожними процесами.

Вісь E та умови реалізації проєкту

Технічно добре опрацьований видобувний проєкт не може вважатися достатньо зрілим для реалізації, якщо не підтверджено його економічну доцільність або існують

суттєві екологічні, соціальні чи регуляторні обмеження. Вісь E фактично відображає зовнішні й внутрішні умови реалізації проєкту.

Для видобувних проєктів критичними можуть бути: економічна ефективність за прийнятих прогнозів цін і витрат, наявність ринку для запланованої продукції, доступ до земельних ділянок та інфраструктури, дозвільні процедури, оцінка впливу на довкілля, соціальна прийнятність, відповідність нормативно-правовим вимогам, джерела фінансування. Таким чином, проєкт може мати високий ступінь технічної вивченості, але залишатися на нижчому рівні загальної зрілості через невирішені економічні, екологічні або регуляторні питання.

Вісь G і геологічні ризики

Вісь G характеризує ступінь достовірності кількісної оцінки продукції, пов'язаної з реалізацією проєкту. Для видобувних проєктів цей компонент значною мірою пов'язаний із геологічною вивченістю, якістю даних, структурою ресурсної моделі та невизначеністю оцінки. Разом із тим висока геологічна достовірність сама по собі не визначає високої проєктної зрілості. Саме це має принципове значення для багатьох українських родовищ. Об'єкт може мати значні та детально розвідані запаси, але залишатися недостатньо зрілим як сучасний видобувний проєкт через відсутність актуальних технологічних досліджень, сучасної економічної моделі, підтвердженого товарного продукту або вирішених дозвільних і екологічних питань.

Проєктна зрілість як система управління ризиками

Важливою перевагою UNFC є можливість використовувати класифікацію не лише для фіксації поточного стану проєкту, але й для визначення причин, які стримують його подальший розвиток.

Для кожного проєкту можуть бути встановлені основні групи таких факторів:

Група факторів	***Основні питання для оцінки зрілості***	***вісь UNFC***
Геологічні	Чи достатньо інформації для достовірної ресурсної моделі?	G
Технологічні	Чи підтверджено технологію та показники вилучення?	F
Гірничотехнічні	Чи визначено спосіб розробки, продуктивність та інфраструктуру?	F
Економічні	Чи підтверджена економічна життєздатність?	E
Ринкові	Чи визначено продукт, специфікацію та потенційний ринок?	E
Екологічні та соціальні	Чи визначені та прийнятні ключові впливи проєкту?	E
Регуляторні	Чи існує реалістичний шлях отримання необхідних дозволів?	E
Проєктні	Чи завершені дослідження, необхідні для наступного інвестиційного рішення?	F

Таким чином, класифікація може використовуватися як своєрідна карта ризиків і невизначеностей проєкту. Якщо ключовим обмеженням є недостатній ступінь технологічної вивченості, подальше буріння без проведення технологічних досліджень може практично не змінити загальний рівень зрілості проєкту. Аналогічно, виконання детального техніко-економічного дослідження не забезпечує переходу до реалізації, якщо не врегульовано принципові екологічні чи дозвільні питання. Тому оцінка проєктної зрілості дозволяє відповісти на практичне питання: яка саме наступна робота найбільше підвищить готовність проєкту до реалізації?

Доцільним є застосування UNFC не лише як одноразової класифікації, а як інструменту регулярного моніторингу. Послідовні оцінки одного проєкту на різних

стадіях дозволяють відображати його розвиток: 1) початковий стан, 2) оцінка ризиків і невизначеностей, 3) програма досліджень, 4) повторна оцінка UNFC, 5)зміна категорій, 6)наступне інвестиційне рішення. За такого підходу зміна категорій E, F та G стає кількісно і якісно структурованим відображенням послідовного зниження ризиків проєкту. Це особливо актуально для довготривалих видобувних проєктів, де між початковими геологічними дослідженнями та промисловим виробництвом можуть проходити роки або десятиліття.

Застосування UNFC набуває додаткового практичного значення у сфері критичних мінеральних ресурсів. У межах реалізації Critical Raw Materials Act Європейський Союз використовує UNFC для характеристики проєктів, які претендують на статус Strategic Projects. UNFC при цьому розглядається не просто як система ресурсної звітності, а як інструмент оцінки й моніторингу життєздатності, здійсненності та прогресу проєктів.

Особливості застосування для українських видобувних проєктів

Для українських проєктів критичних мінералів така логіка має особливе значення в контексті інтеграції до європейських ланцюгів постачання та залучення міжнародного фінансування. Значна частина українських родовищ має тривалу історію геологічного вивчення та затверджені запаси. Традиційна система оцінки дозволяє детально характеризувати геологічну вивченість і промислове значення запасів, однак для сучасного інвестора додатково необхідно розуміти стан самого проєкту. Для вітчизняних об’єктів доцільно розділяти:

1. Зрілість і верифікацію геологічної інформації: наявність і якість даних, їх верифікація, QA/QC, сучасна геологічна та ресурсна модель.
2. Технологічну зрілість: мінералогія, технологічні випробування, масштабування технології, визначення товарного продукту.
3. Економічну зрілість: калькуляція капітальних і операційних витрат, виробнича модель, аналіз чутливості, економічна ефективність.
4. Регуляторну та екологічну зрілість: право користування надрами, ОВД, земельні та водні питання, дозвільні процедури.
5. Інвестиційну зрілість: достатність усіх попередніх складових для прийняття рішення про фінансування та реалізацію.

В Україні застосування UNFC поступово виходить за межі теоретичного зіставлення класифікацій і переходить до практичного використання для оцінки та розвитку проєктів надрокористування. Одним із напрямів є поглиблення класифікації історичних запасів і ресурсів України та наближення національної системи до UNFC. Особливого значення це набуває для великого масиву геологічної інформації, сформованого у попередні десятиліття: архівних матеріалів, звітів, баз даних і державних реєстрів, які потребують верифікації, цифровізації та переінтерпретації в сучасній проєктній логіці.

Практичним прикладом використання UNFC стала оцінка українських проєктів, поданих у межах першого та другого конкурсів ЄС на отримання статусу Стратегічних проектів відповідно до Critical Raw Materials Act. У цьому процесі UNFC використовувалася для уніфікованого представлення проєктів, порівнянності їх стану та оцінки за міжнародною системою; серед українських прикладів у матеріалах наведено Балахівське родовище графіту. Такий досвід показує, що класифікація може виконувати не лише функцію обліку ресурсів, але й бути інструментом представлення ступеня зрілості проєкту для міжнародного інвестора та регулятора.

Український досвід також розширюється на нові сфери надрокористування - підземне зберігання CO_2 та геотермальні проєкти, для яких UNFC використовується як базова рамка для оцінки потенціалу, ризиків, технічної здійсненності та сталості проєктів.

Український досвід демонструє поступовий перехід від класифікації запасів до використання UNFC як інструменту управління розвитком проєктів, оцінки їх зрілості та визначення факторів, що обмежують перехід до наступної стадії.

Узагальнена матриця зрілості проєктів наведена на рис.1.

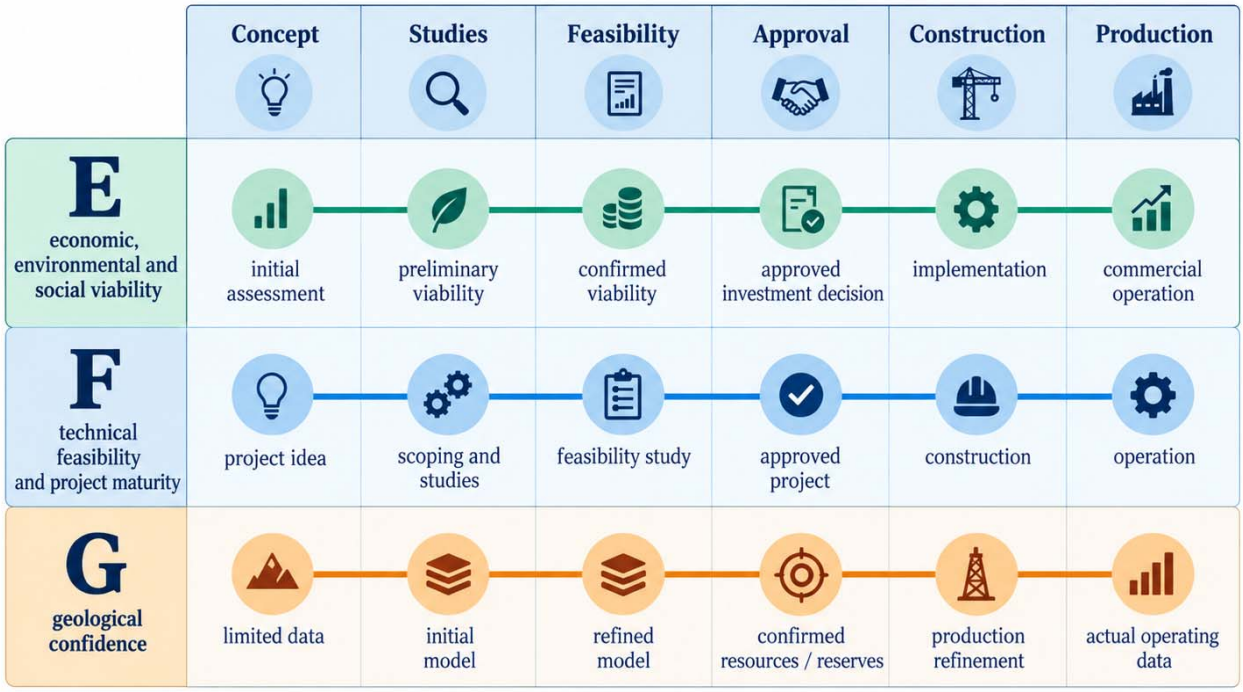


Рис. 1. Узагальнена матриця зрілості видобувного проєкту за осями E-F-G UNFC ***(систематизовано за UNECE, 2019, 2021, 2025).***

Висновки. Проєктна зрілість є комплексною характеристикою, яка не може бути визначена лише ступенем геологічної вивченості або величиною затверджених запасів. UNFC дозволяє оцінювати видобувний проєкт одночасно за трьома взаємопов'язаними складовими: екологічною, соціальною та економічною життєздатністю; технічною здійсненністю та зрілістю; достовірністю оцінки кількості продукції. Практична цінність такого підходу полягає не тільки у присвоєнні проєкту певного класу, а передусім у визначенні факторів, що стримують його перехід до наступної стадії розвитку.

Послідовне застосування UNFC на різних етапах життєвого циклу дає можливість використовувати зміну категорій E, F та G як індикатор прогресу проєкту та ефективності заходів зі зниження його ризиків.

Для України цей підхід є особливо актуальним для родовищ із значною історичною геологічною базою та затвердженими запасами, де основним питанням стає вже не підтвердження самого існування мінеральних ресурсів, а визначення фактичної зрілості проєкту та комплексу робіт, необхідних для його переходу до інвестиційної і виробничої стадій.

Автори висловлюють вдячність проєкту GSEU A Geological Service for Europe (Horizon Europe, Grant Agreement No. 101075609) за методологічну основу, професійну взаємодію та обмін досвідом у сфері застосування UNFC, гармонізації даних про мінеральні ресурси та розвитку підходів до сталого управління ресурсами. Окремі положення роботи сформовані з урахуванням досвіду участі авторів у заходах та експертній діяльності в межах GSEU GSEU.

Список використаних джерел:

United Nations Economic Commission for Europe. (2019). *United Nations Framework Classification for Resources: Update 2019*. United Nations Economic Commission for Europe. UNFC_ES61_Update_2019.pdf

United Nations Economic Commission for Europe. (2021). *Supplementary Specifications for the Application of the United Nations Framework Classification for Resources to Minerals*. United Nations Economic Commission for Europe. UNECE

United Nations Economic Commission for Europe. (2025). *Guidance for Evaluating Strategic Projects according to the United Nations Framework Classification for Resources*. United Nations Economic Commission for Europe. UNECE

United Nations Economic Commission for Europe. (2025). *Bridging Document between the CRIRSCO Template and the United Nations Framework Classification for Resources*. United Nations Economic Commission for Europe. UNECE

European Parliament & Council of the European Union. (2024). *Regulation (EU) 2024/1252 of the European Parliament and of the Council of 11 April 2024 establishing a framework for ensuring a secure and sustainable supply of critical raw materials and amending Regulations (EU) No 168/2013, (EU) 2018/858, (EU) 2018/1724 and (EU) 2019/1020*. *Official Journal of the European Union*. Eur-Lex Official text of Regulation (EU) 2024/1252

References

United Nations Economic Commission for Europe. (2019). *United Nations Framework Classification for Resources: Update 2019*. United Nations Economic Commission for Europe. UNFC_ES61_Update_2019.pdf

United Nations Economic Commission for Europe. (2021). *Supplementary specifications for the application of the United Nations Framework Classification for Resources to minerals*. United Nations Economic Commission for Europe. UNECE Mineral Specifications 2021

United Nations Economic Commission for Europe. (2025a). *Bridging document between the CRIRSCO Template and the United Nations Framework Classification for Resources*. United Nations Economic Commission for Europe. UNECE

United Nations Economic Commission for Europe. (2025b). *Guidance for evaluating Strategic Projects according to the United Nations Framework Classification for Resources*. United Nations Economic Commission for Europe. UNECE Guidance for Evaluating Strategic Projects

European Parliament & Council of the European Union. (2024). *Regulation (EU) 2024/1252 of the European Parliament and of the Council of 11 April 2024 establishing a framework for ensuring a secure and sustainable supply of critical raw materials and amending Regulations (EU) No 168/2013, (EU) 2018/858, (EU) 2018/1724 and (EU) 2019/1020*. *Official Journal of the European Union*. Official text of Regulation (EU) 2024/1252

УДК 622.279.5

УЗГОДЖЕННЯ ОБ'ЄМНОГО ПІДРАХУНКУ ЗАПАСІВ ГАЗУ З МАТЕРІАЛЬНИМ БАЛАНСОМ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ НЕЗАЛУЧЕНИХ ДО РОЗРОБКИ ЗОН

***Кондрат О.**, д. техн. н., проф., oleksandr.kondrat@nung.edu.ua,*
***Лукін О.**, аспірант, ollukin96@gmail.com,*
***Матіїшин Л.**, к. тех. н., доцент, liliia.matiishyn@nung.edu.ua,*
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
Івано-Франківськ, Україна

Запропоновано методику швидкої оцінки запасів газу та площ дренування свердловин, яка не потребує побудови гідродинамічної моделі й спирається лише на статичні карти та історію видобутку і пластового тиску. Методика поєднує об'ємний підрахунок запасів із глибинним відсіканням газоводяного контакту (ГВК), матеріальний баланс p/z з поправкою Ramagost–Farshad на розширення породи та зв'язаної води й розподіл площ дренування за дифузійним часом. Перевизначення площ виконується розв'язанням степеневої діаграми із заданими об'ємами на основі теореми Aurenhammer–Hoffmann, що дає точний розв'язок з аналітичним градієнтом. Показано, що сума посвердловинних оцінок p/z завищує запаси на 13,6 % унаслідок взаємовпливу свердловин, тоді як корекція по об'єкту цю похибку усуває. Різниця між об'ємним підрахунком і матеріальним балансом кількісно оцінює обсяг, не залучений до розробки. На контрольованому наборі даних вона становила 0,110 млрд м³, або 10,1 % геологічних запасів. Розподіл площ дренування верифіковано зіставленням з полем міжкоміркових потоків гідродинамічного розрахунку: збіг 85 % за комірками.

Ключові слова: запаси газу, матеріальний баланс, p/z, площа дренування, дифузійний час пробігу, незалучені запаси.

RECONCILIATION OF VOLUMETRIC GAS RESERVES WITH MATERIAL BALANCE FOR IDENTIFICATION OF UNDRAINED ZONES

***Kondrat O.,** Dr. Sci. (Eng.), Prof., oleksandr.kondrat@nung.edu.ua,*
***Lukin O.,** postgraduate, ollukin96@gmail.com,*
***Matiishyn L.,** Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., liliia.matiishyn@nung.edu.ua,*
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, Ukraine

A workflow is proposed for rapid estimation of gas reserves and well drainage areas that requires no reservoir simulation model and relies only on static maps and production and pressure history. It combines volumetric estimation with a depth-based gas–water contact cut-off, material balance in p/z form with the Ramagost–Farshad correction for rock and connate water expansion, and drainage-area partitioning by diffusive time of flight. Areas are redefined by solving a power diagram with prescribed capacities, based on the Aurenhammer–Hoffmann–Aronov theorem, which yields an exact solution with an analytical gradient. It is shown that summing per-well p/z estimates overstates reserves by 13.6 % owing to well interference, whereas a single-tank fit removes this bias. The difference between the volumetric estimate and material balance quantifies the volume not yet contacted by development. On a controlled dataset it amounted to 0.110 bcm, or 10.1 % of the geological reserves. The drainage partition was verified against the inter-block flux field of a reservoir simulation: 81 % cell agreement, 168 m mean boundary error.

Keywords: gas reserves, material balance, p/z, drainage area, diffusive time of flight, undrained reserves.

Вступ. Обліковані геологічні запаси газу визначають об'ємним методом за статичною моделлю родовища. Обсяг, фактично залучений до розробки, визначається динамікою пластового тиску і може суттєво відрізнятися від облікованого через обмежену гідродинамічну зв'язність і нерівномірність розміщення свердловин. Установлення цієї різниці має безпосереднє значення для обґрунтування категорій запасів і планування довидобутку.

Найповнішу відповідь дає гідродинамічне моделювання, проте його побудова потребує значних витрат часу й вихідних даних, що не завжди виправдано на етапі попереднього аналізу. Класичний матеріальний баланс дає лише інтегральну оцінку без просторової прив'язки. Виникає потреба в методиці проміжного рівня, яка поєднує обидва підходи.

Мета роботи перевірити методику, що узгоджує об’ємний підрахунок запасів газу з матеріальним балансом, кількісно оцінює не залучений до розробки обсяг, не вимагаючи побудови гідродинамічної моделі.

Методика. Розрахунок виконується у шість етапів на двовимірній площинній сітці за загальною схемою (рис. 1).

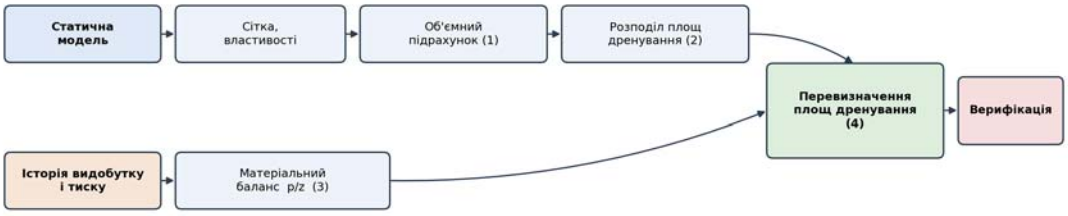


Рис. 1. Загальна схема розрахунку. Числа у дужках відповідають номерам формул (1)–(4)

На першому та другому етапах формується сітка, розміщуються свердловини й заповнюються властивості з контролем кондицій (рис. 2). Газоводяний контакт заданий абсолютною відміткою, а не порогом за водонасиченістю, що дає коректний нуль газонасиченої товщини нижче контакту.

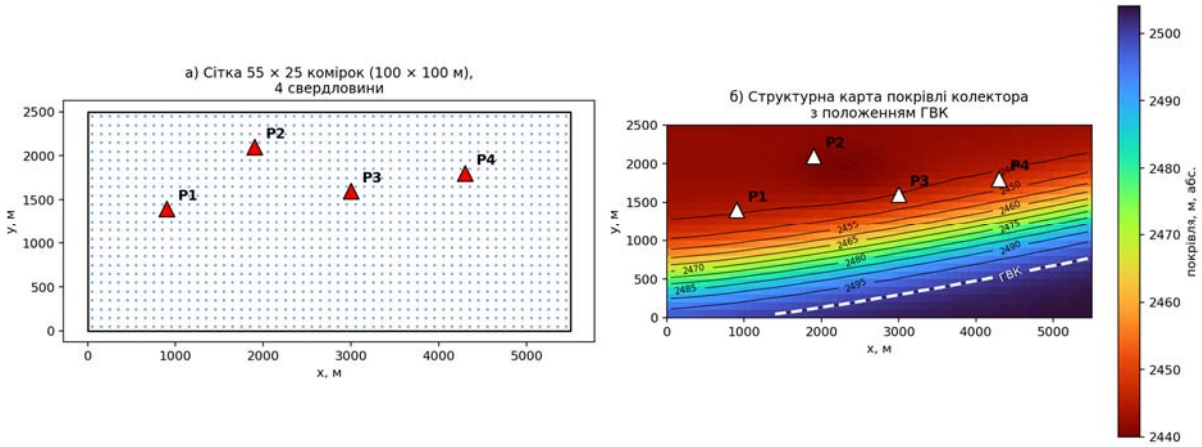


Рис. 2. Побудова двовимірної моделі: а) сітка і розміщення свердловин; б) структурна карта покрівлі колектора з положенням ГВК

Третій етап — об’ємний підрахунок запасів. Газонасичена товщина визначається глибинним відсіканням контакту (рис. 3):

$$h_g = \min(\max(z_c - z_t,\ 0),\ h)$$

$$G = \frac{h_g\, NTG\, \varphi\, (1 - S_w)\, A}{B_g} \qquad (1)$$

де z_ГВК і z_покр — абсолютні відмітки контакту й покрівлі, h_заг — загальна товщина, NTG — коефіцієнт піщанистості, φ — пористість, S_w — водонасиченість газонасиченої частини розрізу, A — площа комірки, B_g — об’ємний коефіцієнт газу, розрахований за кореляцією Dranchuk–Abou-Kassem [1].

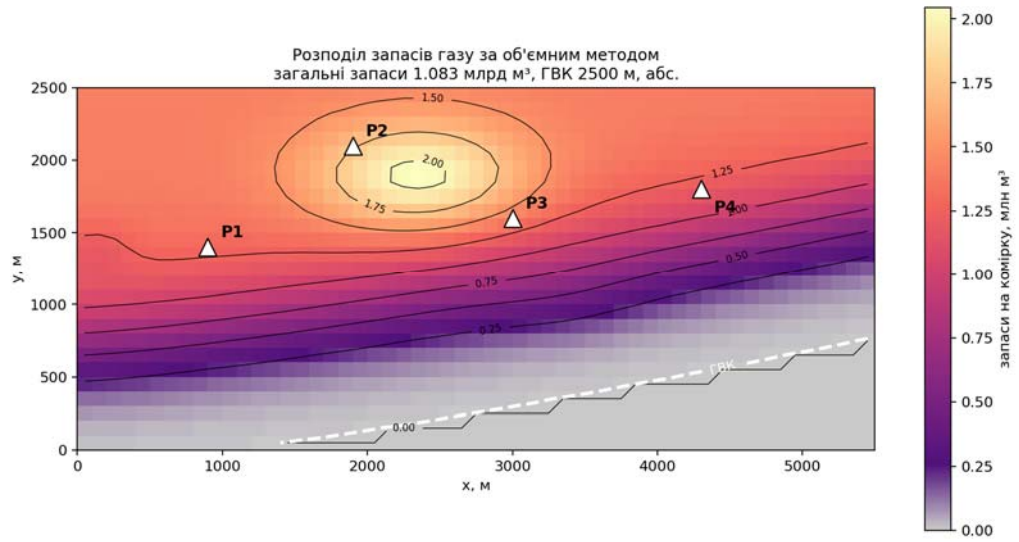


Рис. 3. Розподіл запасів газу за об’ємним методом

Четвертий етап — розподіл площ дренування за дифузійним часом пробігу τ, який є асимптотичним розв’язком рівняння п’єзопровідності [2, 3] і задовольняє рівняння ейконала:

$$|\nabla \tau|^2 = \frac{\varphi \mu c_t}{k} \qquad (2)$$

де μ — в’язкість газу, c_t — загальна стисливість, k — проникність. Рівняння розв’язується алгоритмом Дейкстри з багатьма джерелами на графі комірок; неактивні комірки виступають бар’єрами. Комірка відноситься до тієї свердловини, фронт якої досягає її першим. Швидкість поширення визначається відношенням k/(φ·μ·c_t) і не залежить від товщини: товщина входить в об’єм, а не в дифузію.

П’ятий етап — матеріальний баланс. Для кожної свердловини (рис. 4) та для покладу як єдиного резервуара (рис. 5) підганяється пряма p/z у формі Havlena–Odeh [4] з поправкою Ramagost–Farshad [5] на розширення породи та зв’язаної води:

$$\frac{p}{z}[1 - c_e(p_i - p)] = \frac{p_i}{z_i}\left(1 - \frac{G_p}{G}\right) \qquad (3)$$

$$c_e = \frac{c_w S_{wc} + c_f}{1 - S_{wc}}$$

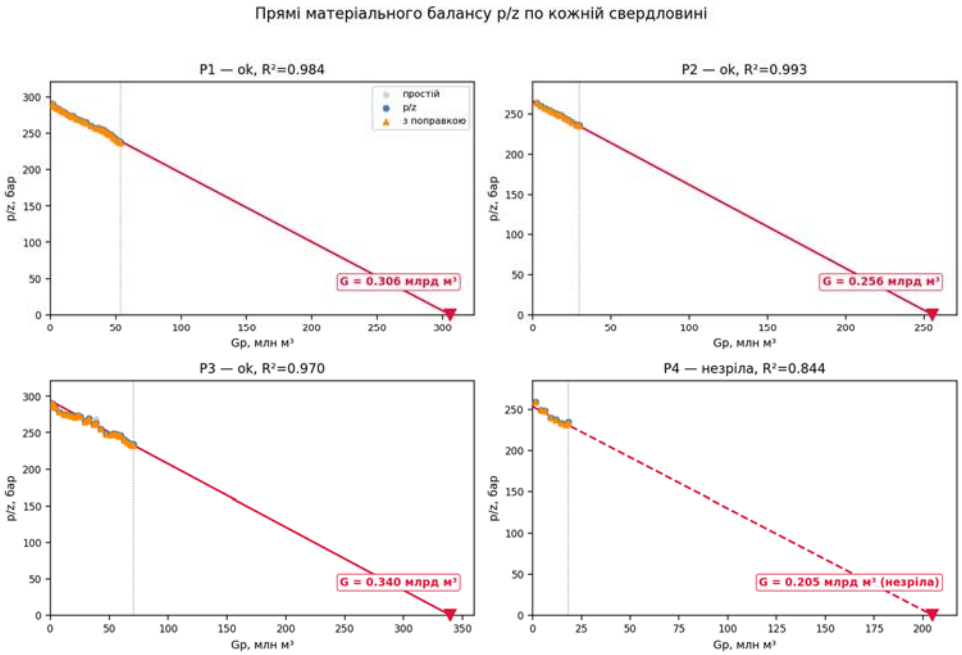


Рис. 4. Прямі матеріального балансу p/z по кожній свердловині

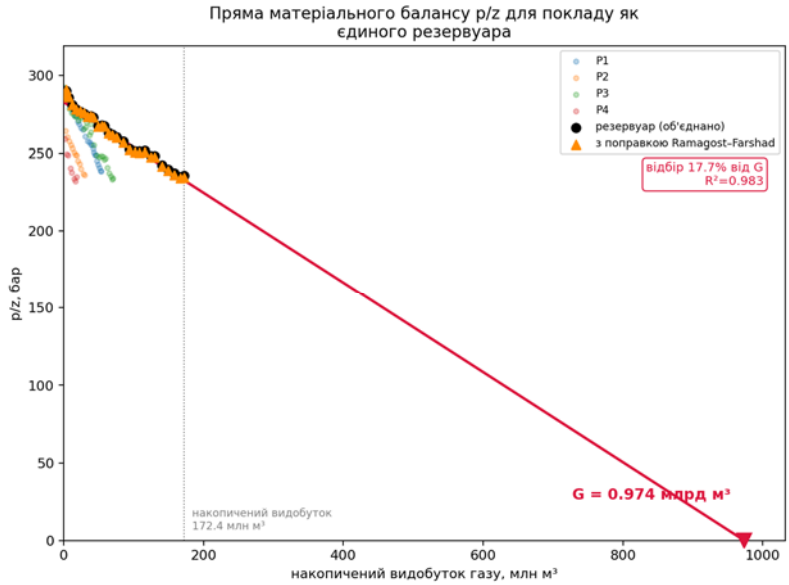


Рис. 5. Пряма матеріального балансу p/z для покладу як єдиного резервуара. Кольоровими точками — окремі свердловини, чорним — об'єднані резервуарні точки

Шостий етап — перевизначення площ дренування розв'язанням степеневої діаграми із заданими місткостями. За теоремою Aurenhammer–Hoffmann [6] ваги, що забезпечують задані об'єми комірок, існують, єдині з точністю до адитивної сталої й максимізують увігнутий потенціал, градієнт якого дорівнює нев'язці за об'ємом:

$$\Phi(w) = \sum_i w_i G_i + \int \min_i \left(|x - s_i|^2 - w_i \right) d\mu$$
$$\frac{\partial \Phi}{\partial w_i} = G_i - V_i(w) \qquad (4)$$

Це дає точний розв'язок з аналітичним градієнтом замість безпохідного пошуку: збіжність досягається за 15–20 ітерацій з нев'язкою менше 0,5 %.

Результати. Методику апробовано на контрольованому наборі даних: сітка 55 × 25 комірок розміром 100 × 100 м, чотири видобувні свердловини, історія 29 місяців,

накопичений видобуток 0,172 млрд м³. Об'ємний підрахунок дав 1,083 млрд м³ геологічних запасів.

Посвердловинні оцінки p/z у сумі становлять 1,106 млрд м³, тоді як резервуарна підгонка дає 0,974 млрд м³ (R^2 = 0,983). Розбіжність 13,6 % має системний характер: власна пряма p/z кожної свердловини відображає падіння тиску, спричинене всіма свердловинами, тоді як на осі абсцис відкладено лише її власний видобуток. У гідродинамічно зв'язаному покладі підсумовування посвердловинних оцінок подвійно враховує взаємовплив, і коректною є саме резервуарна оцінка. Поправка Ramagost–Farshad додатково зменшує оцінку на 2,6 %; її пропуск робить пряму p/z пологішою і систематично завищує запаси.

Різниця між об'ємним підрахунком і матеріальним балансом становить 0,110 млрд м³, або 10,1 % геологічних запасів. Це обсяг, якого не досяг баричний відгук жодної свердловини; увесь він розміщений вище газоводяного контакту. Зведені результати за всіма етапами наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Порівняння результатів за етапами розрахунку

Свердловина	Об'ємний підрахунок, млрд м³	Матеріальний баланс p/z, млрд м³	Після перевизначення, млрд м³	Площа дренування, км²
P1	0,317	0,306	0,300	3,84
P2	0,255	0,256	0,249	1,64
P3	0,248	0,340	0,333	4,85
P4	0,265	0,205	0,201	3,42
Разом / поклад	**1,083**	**0,974[1]**	**1,083[2]**	**13,75**

[1] Резервуарна оцінка для покладу як єдиного цілого (не сума значень по стовпцю, яка через взаємовплив свердловин становить 1,106 млрд м³ — див. текст). [2] Сума після перевизначення дорівнює об'ємному підрахунку за побудовою: перерозподіляється той самий обсяг.

Верифікація. Отриманий розподіл площ зіставлено з полем міжкоміркових потоків гідродинамічного розрахунку. Для кожної комірки виконано простеження вниз за домінуючим потоком до свердловини; отримана границя є поверхнею, через яку чистий потік дорівнює нулю, тобто строгим означенням границі дренування. Додатково границі перевірено лініями течії (рис. 6). Збіг за комірками становить 81 %, середня похибка положення границі — 168 м.

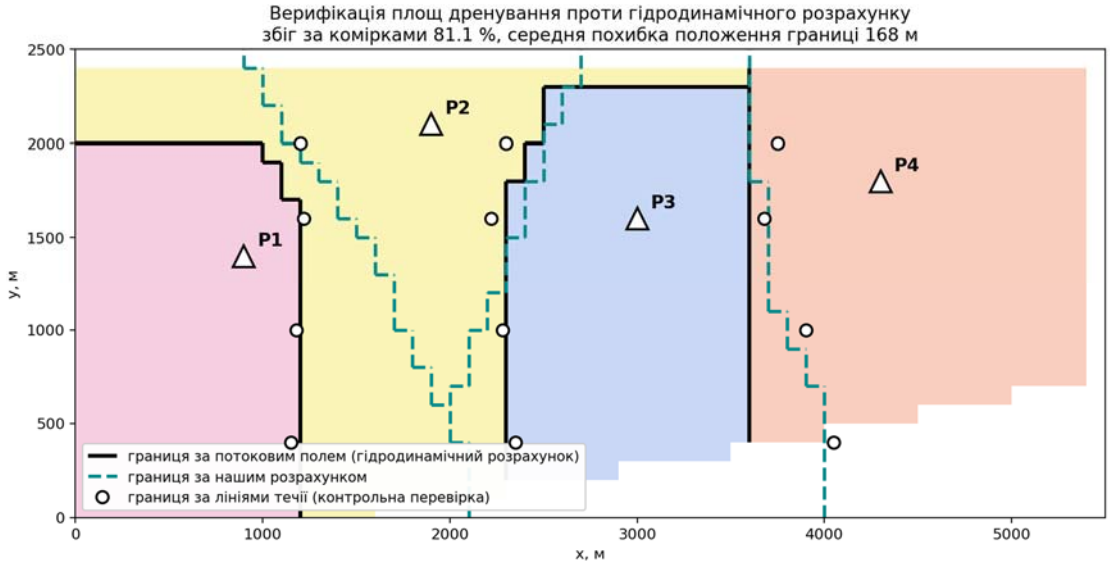


Рис. 6. Верифікація площ дренування: зіставлення розрахованих меж (бірюзовим пунктиром) з границею за потоковим полем гідродинамічного розрахунку (чорним) і положенням меж за лініями течії (білі кружки)

Новизна. Уперше для задачі розподілу площ дренування застосовано теорему Aurenhammer–Hoffmann–Aronov, що замінює евристичну оптимізацію точним розв'язком. Кількісно показано систематичне завищення запасів при підсумовуванні посвердловинних оцінок p/z. Запропоновано спосіб оцінки не залученого до розробки обсягу без побудови гідродинамічної моделі.

Висновки. 1. Узгодження об'ємного підрахунку з матеріальним балансом дає кількісну оцінку обсягу, не залученого до розробки; на досліджуваному наборі вона становила 10,1 % геологічних запасів.

2. Підсумовування посвердловинних оцінок p/z завищує запаси на 13,6 % через взаємовплив свердловин; коректною є резервуарна підгонка.

3. Розподіл площ дренування за дифузійним часом пробігу узгоджується з гідродинамічним розрахунком на рівні 85 % за комірками.

4. Методика не потребує гідродинамічної моделі й може застосовуватися на етапі попереднього аналізу як джерело вихідних даних для подальшої адаптації моделі до історії розробки.

Список використаних джерел:

1. Dranchuk P.M., Abou-Kassem J.H. Calculation of Z factors for natural gases using equations of state. Journal of Canadian Petroleum Technology. 1975. Vol. 14, No. 3. P. 34–36.

2. Vasco D.W., Keers H., Karasaki K. Estimation of reservoir properties using transient pressure data: an asymptotic approach. Water Resources Research. 2000. Vol. 36, No. 12. P. 3447–3465.

3. Datta-Gupta A., Xie J., Gupta N., King M.J., Lee W.J. Radius of investigation and its generalization to unconventional reservoirs. Journal of Petroleum Technology. 2011. Vol. 63, No. 7. P. 52–55.

4. Havlena D., Odeh A.S. The material balance as an equation of a straight line. Journal of Petroleum Technology. 1963. Vol. 15, No. 8. P. 896–900.

5. Ramagost B.P., Farshad F.F. P/Z abnormally pressured gas reservoirs. SPE Annual Technical Conference and Exhibition. 1981. SPE-10125-MS.

6. Aurenhammer F., Hoffmann F., Aronov B. Minkowski-type theorems and least-squares clustering. Algorithmica. 1998. Vol. 20, No. 1. P. 61–76.

УДК 622.276.6

ВИБІР ОБ'ЄКТІВ ПІД ГРП В УМОВАХ ДНІПРОВСЬКО-ДОНЕЦЬКОЇ ЗАПАДИНИ

Головачов О.С., *аспірант, oleksandr.holovachov@ugv.com.ua;*
Михайлишин Б.І., *PhD, ORCID ID 0009-0007-6383-2735, bohdan.mykhailyshyn@ugv.com.ua;*
АТ "Укргазвидобування", Київ, Україна

У роботі розглянуто підхід до вибору свердловин-кандидатів для проведення гідравлічного розриву пласта на виснажених газових родовищах Дніпровсько-Донецької западини. Проаналізовано вплив геолого-петрофізичних, гідродинамічних, структурно-геологічних, технічних та економічних чинників на ефективність ГРП. На основі узагальнення результатів виконаних операцій запропоновано багатокритеріальну систему відбору свердловин у вигляді дерева рішень, що включає п'ять послідовних блоків оцінки параметрів. Встановлено, що комплексний аналіз характеристик пласта, стану привибійної зони та технічного стану свердловини дозволяє підвищити достовірність прогнозування технологічного ефекту ГРП і мінімізувати ризики неефективного проведення робіт. Запропонований підхід може бути використаний для обґрунтування інтенсифікаційних заходів на пізніх стадіях розробки газових родовищ.

Ключові слова: гідравлічний розрив пласта, інтенсифікація, геолого-петрофізичні параметри.

SELECTION OF HYDRAULIC FRACTURING CANDIDATES IN THE DNIPRO-DONETS BASIN

Holovachov O., *Postgraduate Student, oleksandr.holovachov@ugv.com.ua;*
Mykhailyshyn B., *PhD, ORCID ID: 0009-0007-6383-2735, bohdan.mykhailyshyn@ugv.com.ua;*
JSC Ukrgasvydobuvannya, Kyiv, Ukraine

This paper presents an approach to the selection of candidate wells for hydraulic fracturing (HF) operations in mature gas fields of the Dnipro-Donets Basin. The influence of geological and petrophysical, reservoir engineering, structural-geological, technical, and economic factors on hydraulic fracturing performance is analyzed. Based on the generalization of the results of previously conducted operations, a multi-criteria well screening system in the form of a decision tree is proposed, incorporating five sequential parameter evaluation blocks. The study demonstrates that an integrated assessment of reservoir properties, near-wellbore zone conditions, and well integrity improves the reliability of hydraulic fracturing performance forecasting and reduces the risks associated with unsuccessful treatments. The proposed approach can be applied to justify stimulation activities during the late stages of gas field development.

Keywords: hydraulic fracturing, production stimulation, geological and petrophysical parameters.

Вступ. Вибір об'єктів для проведення гідравлічного розриву пласта є одним із ключових етапів планування інтенсифікаційних робіт у газових родовищах, оскільки саме на цьому етапі визначається потенціал вилучення запасів по покладу. Ефективність ГРП значною мірою залежить від геолого-фільтраційних властивостей пласта, стану привибійної зони та динаміки зміни пластових параметрів на тлі тривалої експлуатації, особливо в умовах виснажених родовищ. У виснажених газових покладах різниця між успішною та неефективною операцією часто зумовлена не стільки технологічними особливостями виконання ГРП, скільки коректністю попереднього аналізу поточного режиму роботи свердловини та ступеня забруднення привибійної зони. Тому процес відбору кандидатів повинен ґрунтуватися на комплексній оцінці історії видобутку, аналізі параметрів привибійної зони пласта, ступені забруднення, ступеня пластового тиску та підбору оптимального дизайну гідравлічного розриву пласта.

Дніпровсько-Донецька западина - є одним із ключових нафтогазоносних регіонів України, в межах якого протягом кількох десятиліть здійснюється промисловий видобуток природного газу. Геологічна будова западини характеризується значною потужністю осадового чохла, складною тектонічною будовою та наявністю багатоярусних колекторів, приурочених переважно до теригенних відкладів девону, карбону та пермі. Саме ці особливості зумовили формування значної кількості газових і газоконденсатних родовищ, більшість з яких на сьогодні перебувають на пізній стадії розробки.

Переважна частина газових родовищ Дніпровсько-Донецької западини (рис. 1) характеризується високим ступенем виснаженості, зниженням пластових тисків та падінням дебітів експлуатаційних свердловин. Тривала експлуатація призвела до погіршення фільтраційно-ємнісних властивостей привибійних зон пластів, розвитку кольматаційних процесів та зростання нерівномірності дренування запасів. За таких умов традиційні методи інтенсифікації видобутку виявляються малоефективними, що обумовило необхідність широкого впровадження технологій гідравлічного розриву пласта як основного інструменту відновлення та підвищення продуктивності свердловин.

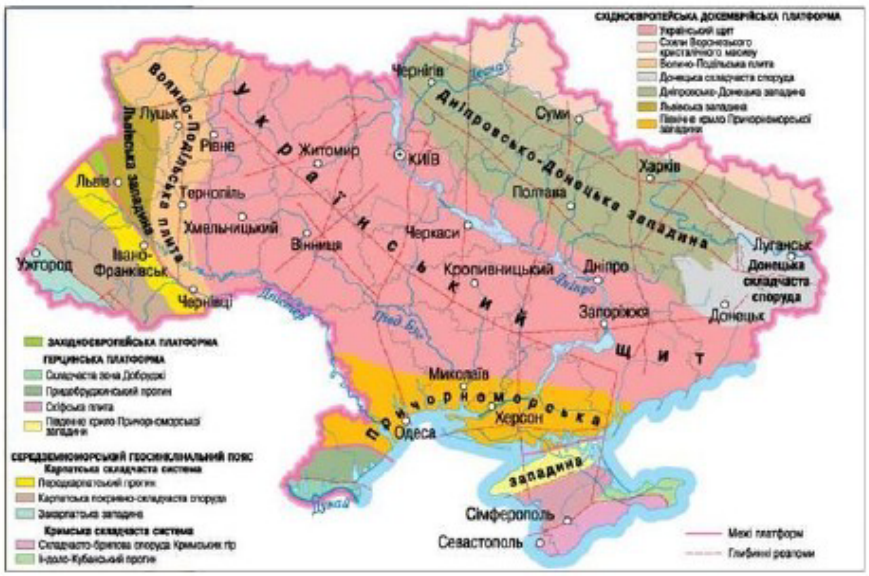


Рис. 1. Дніпровсько-Донецька западина на карті

Гідравлічні розриви пластів у межах Дніпровсько-Донецької западини проводилися на різних типах колекторів, зокрема в низькопористих і низькопроникних пісковиках, що є типовими для виснажених газових родовищ регіону. Практика застосування ГРП показала, що навіть за умов знижених пластових тисків та значної неоднорідності розрізу можливе суттєве зростання дебітів газу та залучення до розробки раніше недренованих зон пласта. Разом із тим ефективність операцій значною мірою залежала від правильності вибору свердловин-кандидатів і параметрів проведення розриву.

Аналіз результатів виконаних гідравлічних розривів пластів на газових родовищах Дніпровсько-Донецької западини дозволив узагальнити практичний досвід та сформувати підхід до визначення оптимальних параметрів для підбору свердловин-кандидатів. Зокрема встановлено, що найбільший технологічний ефект досягається у свердловинах де комплексно проаналізовано фільтраційно-ємнісних властивості пласта, із врахуванням геолого-петрофізичних, структурно-геологічних параметрів, гідро-динамічних та технічних параметрів пласта та свердловин.

Під час проєктування розробки нових родовищ або окремих ділянок, де передбачено використання гідравлічного розриву пласта, особливу увагу потрібно приділяти оптимальній розстановці свердловин. Оскільки тріщини після ГРП значно збільшують радіус дренування, потрібно враховувати інтенференцію у низькопроникних колекторах.Неправильний відбір об’єктів часто призводить до низького приросту продуктивності або передчасного обводнення свердловини. Тому до уваги береться комплекс геолого-технічних та економічних критеріїв, що у поєднанні дозволяють сформувати інтегровану систему прийняття рішень.

Логіку прийняття рішень щодо відбору свердловин-кандидатів під гідравлічний розрив пласта подано у вигляді дерева рішень (рис. 2), що реалізує поетапну систему

блочних фільтрів. Є 5 блоків параметрів, які необхідно проаналізувати, для вибору свердловини кандидата під ГРП. В першому геолого-петрофізичному блоці виконується вибірка за геолого-петрофізичними параметрами (ефективна газонасичена товщина, пористість, проникність, газонасиченість), далі в 2 блоці оцінюються гідродинамічні характеристики (скін-фактор, дебіт при поточному пластовому тиску, пластовий тиск, водний фактор), в 3 структурно-геологічному блоці аналізується будова пласта (глибина залягання пласта, відстань до водного контакту, інтенфиренція свердловин, літологія та глинистість) в 4 блоці-технічний стан свердловини (обсадна колона, перфорація, стан цементного щеплення АКЦ та можливість проведення ГРП). Останнім 5 блоком є економічний блок в якому проводиться економічна оцінка потенціалу проведення ГРП.



Рис. 2. Методика вибору об'єктів під ГРП

Через дану методику з великого масиву даних, можна вибрати першочергові кандидати під ГРП. Другий список це свердловини, на яких необхідні додаткові дослідження. Третій це той ряд свердловин, які не підходять під ГРП. Вибірка свердловин під ГРП повинна здійснюватися по всіх типах свердловин, які є на наявному фонді (ліквідовані, експлуатаційні, оціночні), так і при закладанні нових свердловин (з буріння, забурювання бічних стовбурів та робіт з капремону).

Список використаних джерел:

Михайлишин, Б.І. (2026). Удосконалення технології гідравлічного розриву пласта на основі інтелектуального прогнозування та мінімізації забруднення колектора [Дисертація, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу]. Електронний науковий архів ІФНТУНГ. http://elar.nung.edu.ua/handle/123456789/10066

References

Mykhailyshyn, B.I. (2026). Improvement of hydraulic fracturing technology based on intelligent forecasting and reservoir contamination minimization [Doctoral dissertation, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas]. Electronic Scientific Archive of IFNTUOG. http://elar.nung.edu.ua/handle/123456789/10066

УДК 553.98:550.8.013

ЦИФРОВІЗАЦІЯ АРХІВНИХ ГЕОЛОГО-ГЕОФІЗИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ ЯК ОСНОВА ВІДТВОРЕННЯ ГЕОЛОГІЧНОЇ БУДОВИ РОДОВИЩА НАФТИ І ГАЗУ

Михайлів І.Р. *[1], к. геол. н., доцент, ORCID ID0000-0003-4363-9974, iryna.mykhailiv@nung.edu.ua;*
Шимановська Т.Я. *[2], ORCID ID0009-0004-2462-5627, shimanovskaya.tatyan@ugv.com.ua;*
Стиславська А.М. *[2], ORCID ID0009-0006-9111-2121, anita.styslavskaa@gmail.com;*
1 – Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, Україна,
2 – Український науково-дослідний інститут природних газів АТ «Укргазвидобування», м. Харків, Україна

Розглянуто послідовність підготовки та цифрового опрацювання архівних геолого-геофізичних матеріалів для відтворення геологічної будови родовища нафти і газу та формування інформаційної основи його подальшого цифрового моделювання. Обґрунтовано необхідність оцінки повноти та якості архівної інформації, її систематизації та оцифрування аналогових каротажних діаграм. Запропоновано послідовність опрацювання матеріалів, що включає формування реєстру та відбір свердловин, оцифрування каротажних кривих, їх глибинну прив'язку, контроль якості та зшивання, формування структурованої бази геолого-геофізичної інформації, інтеграцію геологічних і геофізичних характеристик та побудову комплексних діаграм розрізів свердловин. Сформовані комплексні діаграми використовуються для міжсвердловинного зіставлення та побудови кореляційної схеми продуктивної товщі. Основним параметром кореляції за наявного комплексу архівних матеріалів прийнято стандартний каротаж, результати якого уточнюються з урахуванням стратиграфічної та літологічної характеристики розрізів. Встановлено, що системна підготовка архівних матеріалів забезпечує перехід від розрізненої аналогової інформації до структурованого цифрового інформаційного масиву, підвищує можливості комплексного аналізу та інтерпретації розрізів свердловин і створює інформаційну основу для подальшого цифрового відтворення та моделювання геологічної будови продуктивних горизонтів.

Ключові слова: архівні геолого-геофізичні матеріали, оцифрування, геофізичні дослідження свердловин, цифрова база даних, міжсвердловинна кореляція, геологічне моделювання.

DIGITIZATION OF ARCHIVAL GEOLOGICAL AND GEOPHYSICAL MATERIALS AS A BASIS FOR RECONSTRUCTING THE GEOLOGICAL STRUCTURE OF AN OIL AND GAS FIELD

Mykhailiv I. *[1], Cand. Sci. (Geol.), Assoc. Prof.,ORCID ID 0000-0003-4363-9974, iryna.mykhailiv@nung.edu.ua;*
Shymanovska T. *[2], ORCID ID 0009-0004-2462-5627, shimanovskaya.tatyan@ugv.com.ua;*
StyslavskaA. *[2], ORCID ID 0009-0006-9111-2121, anita.styslavskaa@gmail.com;*
1 – Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, Ukraine;
2 – Ukrainian Research Institute of Natural Gases, JSC "Ukrgasvydobuvannya", Kharkiv, Ukraine

The paper examines a sequence for the preparation and digital processing of archival geological and geophysical data aimed at reconstructing the geological structure of an oil and gas field and establishing an information basis for its subsequent digital geological modeling. The need to assess the completeness and quality of archival information, systematize the available data, and digitize analogue well-log charts is substantiated. A data-processing workflow is proposed, including the compilation of a well register and selection of wells, digitization of well-log curves, depth referencing, quality control and curve merging, development of a structured geological and geophysical database, integration of geological and geophysical characteristics, and construction of comprehensive well-section diagrams. The resulting comprehensive diagrams were used for interwell correlation and construction of a correlation scheme of the productive interval. Standard logging was used as the main correlation parameter given the available set of archival data, with the results refined using stratigraphic and lithological characteristics of the well sections. It is established that systematic preparation of archival data enables the transformation of fragmented analogue information into a structured digital information set, enhances the potential for integrated analysis and interpretation of well sections, and provides an information basis for subsequent digital reconstruction and modeling of the geological structure of productive intervals.

Keywords: archival geological and geophysical data, digitization, well logging, digital database, interwell correlation, geological modeling.

Вступ. Створення цифрової моделі геологічної будови родовища нафти і газу передбачає попередню підготовку вихідних геолого-геофізичних даних, які визначають достовірність подальшої інтерпретації та моделювання. Одним із ключових етапів є кореляція розрізів свердловин[2], що передує побудові структурного каркасу та передбачає виділення і простеження стратиграфічних та літологічних границь, у тому числі продуктивних товщ на основі матеріалів геофізичних досліджень свердловин (ГДС).

Для родовищ, геологорозвідувальні роботи на яких проводилися у 70–90-х роках XX століття, значна частина первинної інформації представлена аналоговими каротажними діаграмами, геологічними розрізами, таблицями та іншими графічними матеріалами. Їх використання у сучасному цифровому моделюванні потребує оцінки якості, систематизації та переведення у цифровий формат. При цьому архівні матеріали характеризуються неоднорідністю за складом, якістю та повнотою: окремі свердловини можуть мати повний комплекс ГДС, тоді як для інших збереглися лише окремі методи. Це обмежує можливості комплексної інтерпретації та є одним із джерел інформаційної невизначеності кінцевої моделі.

Отже, **метою дослідження** є розроблення та апробація послідовності підготовки та цифрового опрацювання архівних геолого-геофізичних матеріалів для побудови кореляційної схеми продуктивної товщі та формування комплексної характеристики розрізів свердловин як основи подальшого геологічного моделювання.

Загалом, основні складнощі роботи з аналоговими каротажними діаграмами можна згрупувати таким чином:

1. Різна якість та неоднорідність аналогових матеріалів: низька якість сканування, потертості, розриви та заломи паперу, вицвітання чорнила, плями, шуми, сторонні позначки, нерівномірний фон, часткова втрата фрагментів діаграми, а також відмінності у якості каротажних матеріалів, отриманих у різні роки.
2. Геометричні спотворення та необхідність просторового вирівнювання: зміщення та перекоси зображення відносно вертикальної осі, деформації паперу, що виникають під час сканування та порушення вихідного масштабу.
3. Розпізнавання та масштабування каротажних кривих: встановлення відповідності між положенням кривої та глибиною, визначення координатної сітки й масштабу, особливо у випадках, коли каротажна діаграма складається з декількох аркушів або окремих фрагментів.
4. Контроль точності та відновлення втрачених або спотворених фрагментів: можливі втрати інформації під час розпізнавання, згладжування локальних відхилень, спотворення аномалій та необхідність експертного контролю отриманого цифрового запису.

Тому переведення в цифровий вигляд аналогових каротажних діаграм має розглядатися не як просте графічне відтворення, а як процедура цифрової реконструкції первинних геофізичних даних із збереженням їх геометричної та геологічно значущої інформації**.** Якість виконання цього етапу безпосередньо впливає на результати подальшої кореляції та геологічного моделювання.

Послідовність підготовки архівних геолого-геофізичних матеріалів як основи для відтворення та цифрового моделювання геологічної будови родовища включає декілька взаємопов’язаних етапів: збір і оцінку вихідної інформації, формування реєстру та відбір свердловин, цифровізацію аналогових матеріалів, контроль якості та глибинної прив’язки отриманих даних, формування структурованої бази даних, інтеграцію геологічної та геофізичної інформації, побудову комплексних діаграм розрізів свердловин і міжсвердловинну кореляцію продуктивної товщі.

На першому етапі здійснюється збір та аналіз фондових і архівних матеріалів, які містять дані про буріння свердловин, результати геофізичних досліджень свердловин (ГДС), стратиграфічне розчленування розрізів, результати випробування пластів та матеріали первинної геолого-геофізичної інтерпретації.

Під час опрацювання вихідних матеріалів оцінюються їх наявність, повнота, якість, відповідність установленим інтервалам глибин та можливість подальшого використання для комплексного аналізу розрізів свердловин. За результатами цієї роботи формується реєстр свердловин і визначається перелік свердловин, для яких наявний достатній обсяг геолого-геофізичної інформації для подальшої цифрової обробки та міжсвердловинного зіставлення.

Такий попередній відбір є важливим етапом, оскільки різночасовість отримання архівних матеріалів, відмінності у складі комплексу ГДС, різна якість каротажних діаграм та неповнота окремих видів інформації можуть створювати додаткову інформаційну невизначеність під час подальшої інтерпретації.

Наступним етапом є переведення аналогових каротажних діаграм у цифровий формат. Оцифрування виконується у програмному пакеті «Геопошук» [3] з урахуванням масштабу та координатної сітки вихідних матеріалів. Результатом є цифрові криві геофізичних досліджень, які експортуються у формат LAS (Log ASCII Standard).

Особливе значення на цьому етапі має забезпечення коректної глибинної прив’язки цифрових кривих, оскільки навіть незначні зміщення за глибиною можуть впливати на результати подальшого зіставлення розрізів свердловин. Додатково здійснюється контроль якості цифрового запису, перевіряється відповідність кривих вихідним аналоговим матеріалам, а також узгоджуються однойменні криві з окремих аркушів із подальшим їх об’єднанням у безперервний запис.

Таким чином, цифровізація розглядається не лише як механічне переведення графічної інформації у цифрову форму, а як комплексна процедура підготовки даних до їх подальшого структурованого використання.

Оцифровані каротажні криві узгоджуються з результатами первинної геолого-геофізичної інтерпретації та іншими наявними матеріалами по свердловинах. На цій основі формується структурована база геолого-геофізичної інформації.

До бази включаються цифрові каротажні криві, інтервали залягання виділених пластів, загальні та ефективні нафтогазонасичені товщини, значення питомого електричного опору, характеристики насичення, результати випробування пластів, стратиграфічне розчленування та інші параметри, необхідні для комплексного аналізу продуктивної товщі.

Структурування даних у єдиному інформаційному середовищі забезпечує можливість їх комплексного аналізу та створює передумови для подальшої інтеграції різнотипної геологічної і геофізичної інформації.

Наступним етапом є побудова комплексних діаграм геолого-геофізичних матеріалів розрізів свердловин. Вони формуються у масштабі 1:200 для детального та уніфікованого представлення геолого-геофізичних характеристик досліджуваних інтервалів.

Для побудови комплексних діаграм використовуються матеріали стандартного каротажу, кавернометрії, радіоактивного каротажу, бокового каротажу, мікрокаротажу та бокового каротажного зондування [1, 4], а також результати літолого-стратиграфічного розчленування, дані про товщини пластів, характер їх насичення та результати випробувань.

Комплексне представлення зазначеної інформації дозволяє одночасно враховувати літологічні особливості розрізу, фізичні властивості порід, положення продуктивних інтервалів та характер їх насичення. При цьому стандартний каротаж є одним із ключових видів геофізичної інформації, що використовується для подальшого міжсвердловинного зіставлення.

Побудова комплексних діаграм забезпечує уніфіковане представлення даних по окремих свердловинах, полегшує їх візуальний і аналітичний аналіз та створює безпосередню основу для побудови кореляційної схеми продуктивної товщі. Приклад комплексної діаграми геолого-геофізичних матеріалів розрізу свердловини наведено на рис. 1.

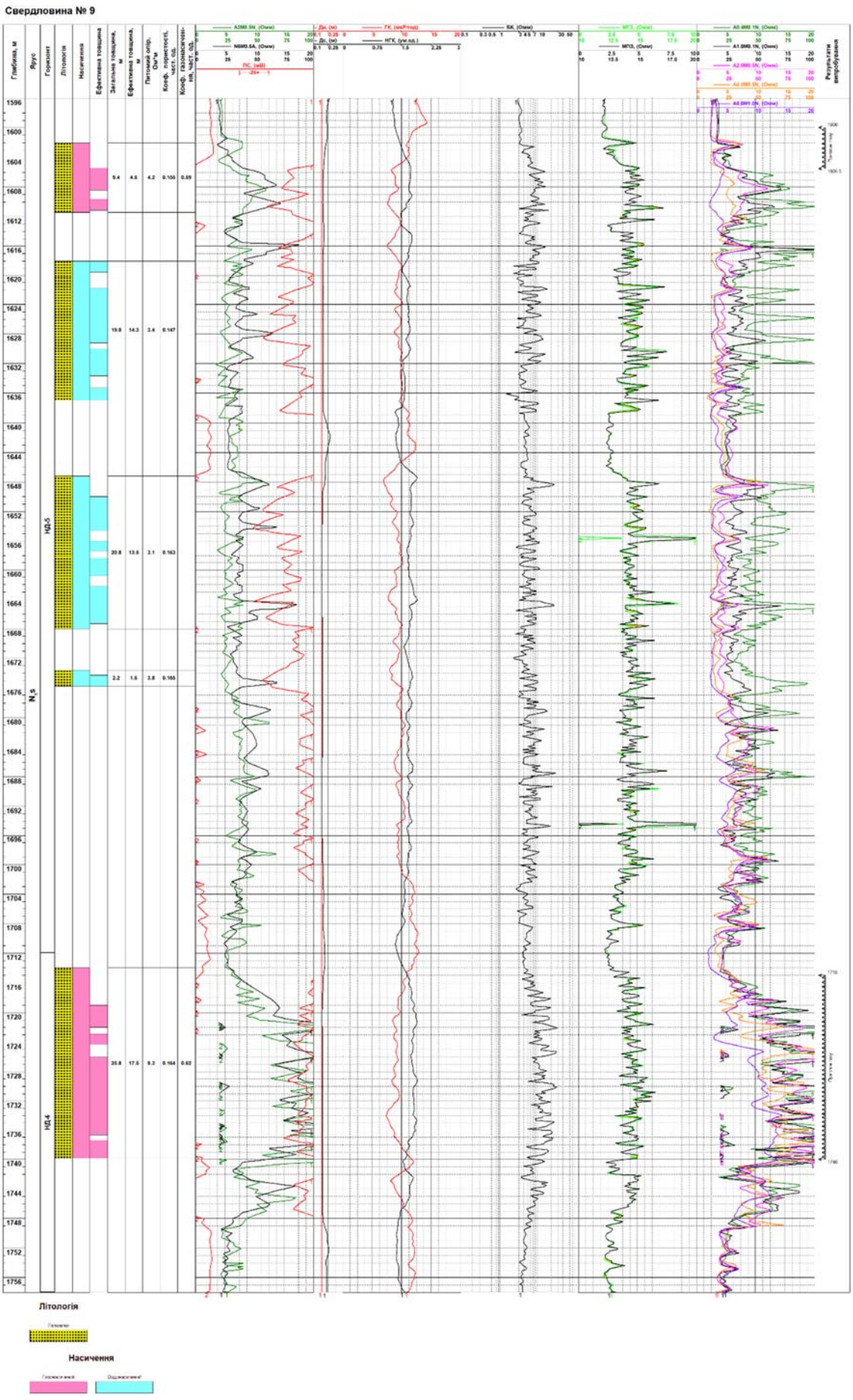


Рис. 1. Комплексна діаграма геолого-геофізичних матеріалів по свердловині № 9

На основі сформованих комплексних діаграм здійснюється міжсвердловинне зіставлення розрізів та побудова кореляційної схеми продуктивної товщі.

Основним параметром для кореляції за наявного комплексу архівних матеріалів прийнято стандартний каротаж, характерні особливості кривих якого використовуються для простежування відповідних інтервалів між свердловинами. При цьому результати зіставлення уточнюються з урахуванням стратиграфічної приналежності, літологічної характеристики, положення пластів, їх загальних, ефективних та нафто газонасичених товщин, а також характеру насичення.

Кореляцію виконують переважно у масштабі 1:500. На відміну від комплексних діаграм, які будуються у масштабі 1:200 для детального представлення характеристик окремих свердловин, масштаб 1:500 забезпечує більш зручне міжсвердловинне зіставлення та простеження продуктивної товщі в межах досліджуваної площі.

У результаті виконаної кореляції встановлюється просторове положення продуктивних горизонтів, простежуються зміни їх товщини та характеру залягання, а також формуються передумови для подальшого уточнення геологічної будови продуктивної товщі. Побудовану кореляційну схему наведено на рис. 2.

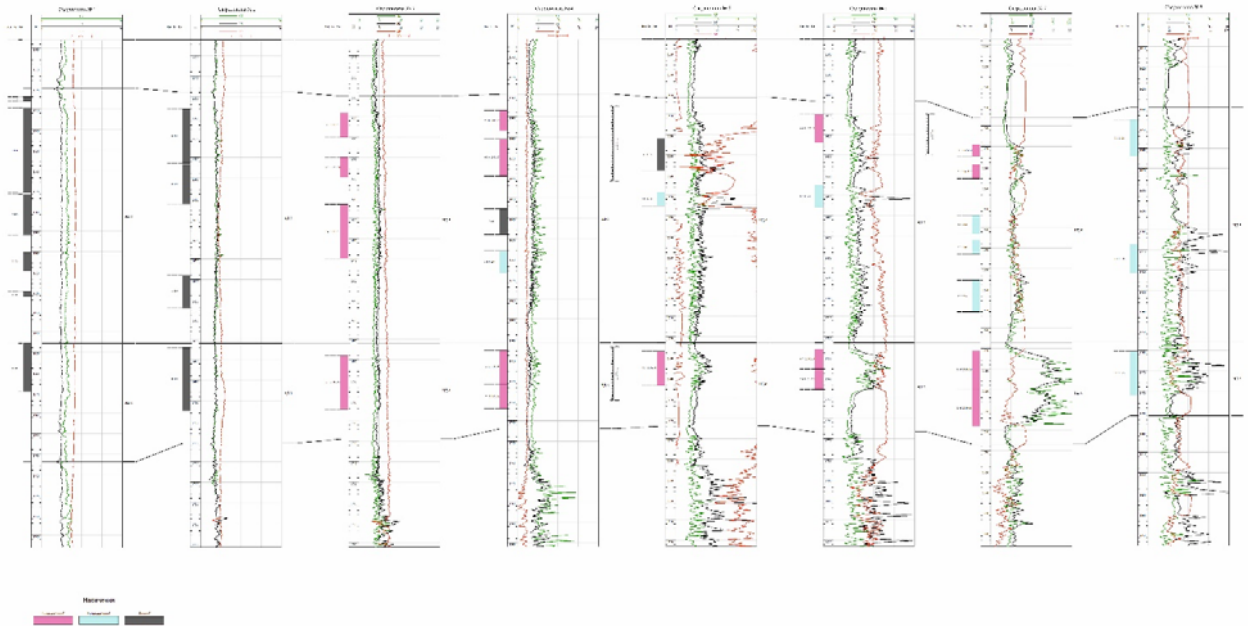


Рис. 2. Схема кореляції продуктивної частини відкладів по лінії свердловин №№ 1-2-3-4-5-6-7-8

Таким чином, послідовне опрацювання архівних матеріалів – від їх відбору та оцінки до цифровізації, контролю, систематизації, формування комплексних діаграм і міжсвердловинної кореляції – забезпечує перехід від розрізнених аналогових матеріалів до структурованого цифрового інформаційного масиву.

Сформовані цифрові каротажні дані, база геолого-геофізичної інформації, комплексні діаграми розрізів свердловин та кореляційна схема продуктивної товщі становлять взаємопов’язаний комплекс матеріалів, який може бути використаний як інформаційна основа для подальшого цифрового відтворення та моделювання геологічної будови родовища.

Узагальнену послідовність підготовки та опрацювання архівних геолого-геофізичних матеріалів наведено на рис. 3:

Збір та оцінка архівних геолого-геофізичних матеріалів

↓

Формування реєстру та відбір свердловин

↓

Оцифрування аналогових каротажних діаграм

↓

Глибинна прив'язка, контроль якості та зшивання кривих

↓

Формування структурованої бази даних свердловин

↓

Інтеграція геофізичної та геологічної інформації

↓

Формування комплексних діаграм розрізів свердловин

↓

Побудова кореляційної схеми продуктивної товщі

↓

Підготовка цифрової інформаційної основи для геологічного моделювання

Рис. 3. Узагальнена схема процесу відтворення геологічної будови родовища за архівними даними

Висновки. Проведене дослідження показало, що цифровізація архівних геолого-геофізичних матеріалів є необхідною складовою відтворення геологічної будови родовищ нафти і газу та підготовки вихідної інформації для цифрового геологічного моделювання. Послідовне переведення аналогових каротажних матеріалів у цифрову форму, їх глибинна прив'язка, контроль якості, систематизація та інтеграція з наявною геологічною інформацією забезпечують формування цілісного інформаційного масиву, придатного для подальшого аналітичного опрацювання. Сформовані цифрові каротажні дані, структурована база геолого-геофізичної інформації та комплексні діаграми розрізів свердловин дають змогу уніфікувати представлення різнотипних матеріалів і підвищити їх інформативність під час характеристики продуктивної товщі. Побудована на їх основі кореляційна схема забезпечує простеження геологічних інтервалів між свердловинами та уточнення особливостей просторової будови продуктивної товщі. Таким чином, запропонована послідовність опрацювання архівних матеріалів забезпечує перехід від розрізнених аналогових даних до структурованої цифрової інформаційної основи. Це створює передумови для зменшення інформаційної невизначеності під час реконструкції геологічної будови родовища та формує надійну вихідну базу для подальшого цифрового геологічного моделювання.

Список використаних джерел:

1. ДСТУ 4011-2001 Геофізичні дослідження надр. Дослідження в свердловинах. Терміни, визначення та літерні позначення. Затверджено та введено в дію наказом Держстандарту України від 2 березня 2001 р. № 93.

2. Методичні рекомендації щодо змісту, оформлення та порядку подання матеріалів геолого-економічної оцінки (ГЕО) родовищ корисних копалин / Державна комісія України по запасах корисних копалин (ДКЗ). Київ, 2021. URL: https://dkz.gov.ua

3. Програмний комплекс «ГеоПошук 10» : офіційний сайт та інструкція користувача / розраб.: В. М. Вижва та ін. Київ, 2026. URL: https://www.geoposhuk.com.ua (дата звернення: 12.05.2026).

4. СОУ 09.1-30019775-328-4:2024 Геофізичні дослідження (каротаж) свердловини. Прийнято та надано чинності наказом АТ «Укргазвидобування» від 11 лютого 2025 року № 129.

References

Derzhavnyi standart Ukrainy. (2001). *Heofizychni doslidzhennia nadr. Doslidzhennia v sverdlovynah. Terminy, vyznachennia ta literni poznachennia* (DSTU Standard № 4011-2001). [in Ukrainian].

State Commission of Ukraineon Mineral Resources (DKZ). (2021). *Metodychni rekomendatsii shodo zmistu, oformlennia ta poriadku podannia materialiv heoloho-ekonomichnoi otsinky (HEO) rodovyshch korysnykh kopalyn*. https://dkz.gov.ua [in Ukrainian].

Joint Stock Company "Ukrgazvydobuvannya". (2025). *Heofizychni doslidzhennia (karotazh) sverdlovyny* (SOU Standard № 09.1-30019775-328-4:2024). [in Ukrainian].

Vyzva, V. M. etal. (2026). *Prohramnyi kompleks «HeoPoshuk 10»: ofitsiinyi sait ta instruktsiia korystuvacha*. https://www.geoposhuk.com.ua [in Ukrainian].

УДК 622.24:620.178.16

PREDICTING WEAR OF ROCK-CUTTING ELEMENTS IN WELL DRILLING AND ASSESSING THE COST-EFFECTIVENESS OF TOOL AND REGIME CHOICES

Pashchenko O., *ORCID ID 0000-0003-3296-996X, pashchenko.o.a@nmu.one;*
Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

The paper develops a wear-prediction framework for rock-cutting elements of rotary drill bits and uses it to rank design and operating measures by cost per metre drilled. A dimensionless wear-intensity criterion with two calibration constants per cutter material is derived from a single contact-pressure number: rock indentation hardness times wear-flat area, divided by the load on the element. On a digital twin of rock failure and tool wear the criterion reproduces wear over rocks of 68–289 MPa uniaxial strength with errors of 0.6% for PDC and 11% for WC-Co. Tool life to loss of cutting is shown to end when the wear flat takes the whole axial load, not at an arbitrary wear-flat height. For Ø132 mm PDC bits a DLC coating lowers the cost per metre by 4.4–11.8%, a 50% increase in weight on bit by 10–25%, and the combination of coating with load control as wear develops by 11–26%. The results support a grounded choice of cutter material, tilt, coatings and drilling regime.

Keywords: rock-cutting elements, tool wear, well drilling, dimensionless criterion, PDC, WC-Co, cost per metre.

ПРОГНОЗУВАННЯ ЗНОШУВАННЯ ПОРОДОРУЙНІВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПРИ БУРІННІ СВЕРДЛОВИН ТА ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИБОРУ ІНСТРУМЕНТУ І РЕЖИМУ

Пащенко О.А., *ORCID ID 0000-0003-3296-996X, pashchenko.o.a@nmu.one;*
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

Робота розвиває основи прогнозування зношування породоруйнівних елементів обертових доліт і застосовує їх для ранжування конструктивних і режимних заходів за собівартістю метра проходки. Безрозмірний критерій інтенсивності зношування з двома калібрувальними константами на матеріал різця виведено з єдиного комплексу контактного тиску: твердість породи за вдавлюванням, помножена на площу площадки зносу і поділена на навантаження на елемент. На цифровому двійнику процесу руйнування породи й зношування інструменту критерій відтворює знос у діапазоні міцності порід 68–289 МПа з похибкою 0,6% для PDC і 11% для WC-Co. Показано, що ресурс до втрати різання закінчується, коли площадка зносу сприймає все осьове навантаження, а не за довільної висоти зносу. Для доліт PDC Ø132 мм покриття DLC знижує собівартість метра на 4,4–11,8%, підвищення осьового навантаження на 50% – на 10–25%, поєднання покриття з керуванням навантаженням у міру зношування – на 11–26%. Результати обґрунтовують вибір матеріалу різця, кута нахилу, покриттів і режиму буріння.

Ключові слова: породоруйнівні елементи, зношування інструменту, буріння свердловин, безрозмірний критерій, PDC, WC-Co, собівартість метра.

Introduction. Wear of rock-cutting elements (RCE) remains one of the key factors limiting rate of penetration (ROP), bit life and overall economic efficiency of rotary well drilling. In hard and abrasive formations, the cost of replacing worn bits and the associated tripping operations can reach a substantial share of total drilling cost. Therefore, reliable prediction of RCE wear and justified selection of cutter geometry, material, coating and operating parameters are of both scientific and practical importance.

Existing approaches to wear prediction can be divided into several groups. Empirical and semi-empirical models, such as those by Bourgoyne et al. [1], are simple and convenient for operational forecasting within a calibrated data set, but they lose accuracy when transferred to new lithologies or bit designs. Theoretical contact models, including the classical Detournay–Defourny model [2], provide a physical basis for cutting force analysis but usually consider an idealised rock and do not fully account for progressive wear, thermal effects and abrasive action of cuttings. Thermo-hydro-mechanical (THM) models give a more complete description but require five to eight calibration constants per tool–rock pair, which limits their practical use for new bits or new geological conditions.

Experimental studies of RCE interaction with rock [3] and optimisation of cutting-element design [4] have shown that wear is controlled by a combination of contact pressure, geometry, material properties and rock abrasivity. Microstructural studies of WC-Co composites [5] have demonstrated the role of carbide grain size, cobalt content and binder state in abrasive wear resistance. Dynamic effects, including vibrations and percussive–rotary interaction, have been analysed in [6], where coupled-mode vibrations were shown to influence wear and edge loading. Field and technological studies [7] provide valuable data on drilling parameters and bit performance, while machine-learning approaches [8] offer new opportunities for modelling mechanical processes in mining and drilling, although they often require large data sets and may lack physical interpretability.

At the same time, a generalised criterion that would combine the main mechanisms of RCE wear, require a minimum number of calibration constants and remain transferable between rocks is still lacking. The aim of this work is therefore to improve the theoretical basis and generalised criteria of RCE interaction with rock so that wear and drilling performance can be predicted from the physical and mechanical properties of the rock and used to justify cutter geometry, material, coating and operating parameters. The main objectives are: (i) to derive a dimensionless wear-intensity criterion; (ii) to calibrate and verify it using bench and full-scale data; (iii) to determine the domain of its applicability; and (iv) to assess the cost-effectiveness of design and operating measures for PDC bits.

Main material. The study combines similarity theory (Buckingham π-theorem) for the wear criterion [1, 2]; a digital twin of rock failure and RCE wear implemented in Python; force-controlled bench tests on the UBS-1M rig planned by the contact-pressure group; full-scale checks on the ZIF-650M stand; field records of rotary drilling with Ø132 mm PDC bits; least-squares fitting in logarithms, leave-one-rock-out cross-validation and Sobol' sensitivity indices; and an economic model of cost per metre, NPV, IRR and a Monte Carlo assessment of an in-house coating line.

The theoretical basis is the π-theorem, which allows the number of governing variables to be reduced to a set of independent dimensionless groups. The contact-pressure number is defined as the rock indentation hardness, taken as three times the uniaxial compressive strength, multiplied by the wear-flat area and divided by the load on the element. This number represents the fraction of the axial load carried by the wear flat. The cutting action is described with reference to the Detournay–Defourny model, while empirical drilling relationships are used for comparison. Microstructural parameters of WC-Co inserts are taken from [3]. Dynamic effects and vibration data are interpreted according to [4]. Machine-learning methods are used for sensitivity analysis and for checking the robustness of the identified parameters.

From 18 governing quantities the π-theorem yields 14 independent dimensionless groups [1, 2]. Of these, the state of the cutter–bottom contact collapses onto one contact-pressure number: the indentation hardness of the rock, taken as three times the uniaxial strength, multiplied by the wear-flat area and divided by the load on the element. This number is the fraction of the axial load carried by the wear flat. While it is below one, part of the load still reaches the cutting edge and the element continues to cut. When it reaches one, the flat takes the whole load, penetration stops and the functional life of the element ends. Life is therefore set by the contact state, not by an arbitrary wear-flat height written into a dulling code. This conclusion is consistent with the physical interpretation of the cutting process given in [6] and with experimental observations of RCE interaction [1].

Wear is fed by two parallel channels. One is friction on the wear flat; the other is the abrasive stream of cuttings that passes the edge. Their weights are complementary: the flat channel takes the contact-pressure fraction, the edge channel takes the rest. The intensity criterion is therefore a sum of the two contributions, each with its own constant for a given cutter material, multiplied by a power of the Cerchar abrasivity relative to a reference value and by a weak thermal factor. The thermal factor uses an effective activation energy of 14–

16 kJ/mol and a reference temperature of 170 °C, so temperature corrects the rate but does not dominate it in the rotary regime studied here. A tilt other than the reference enters only as a rake-face pressure factor on the edge channel. This structure is in line with earlier findings on energy consumption in rock destruction and with the analysis of dynamic effects.

The constants were identified on the UBS-1M series (five rocks, UCS 68–289 MPa, CAI 1.1–6.7) [1, 5]. For PDC: $C_1 = 1.58 \cdot 10^{-6}$, $C_2 = 7.4 \cdot 10^{-7}$, n = 0.91, $R^2 = 0.897$, median error 9.3%. For WC-Co: $C_1 = 1.32 \cdot 10^{-5}$, $C_2 = 9.7 \cdot 10^{-6}$, n = 0.92, $R^2 = 0.987$, error 11.1%. Leave-one-rock-out errors are 6.5–28% (PDC) and 9–22% (WC-Co), so the constants transfer across rocks without recalibration. On the ZIF-650M full-scale tool the errors are 7% (PDC) and 24% (WC-Co). A multiplicative combination of the same groups fails (error 169%). These results confirm the advantage of the additive form and are consistent with the methodological approach to modelling mechanical processes described in [8].

Hardness alone, as in the Archard law, does not place the two materials. Quartz (about 11.5 GPa) is much softer than the diamond table and comparable with the carbide. On PDC it only polishes the flat; on WC-Co it plucks carbide grains together with the cobalt binder. A smooth hardness-ratio factor, centred on equality of the two hardnesses, captures this change of mechanism. Once it is included, the two constants belong to the cutter material and transfer from rock to rock. The life advantage of PDC over WC-Co then grows with abrasivity and strength, from about 38 times in the weakest shale to about 226 times in quartzite. This is consistent with microstructural studies of WC-Co composites [3], which show the influence of binder content and grain size on wear resistance.

The criterion applies when rotary cutting is used, the impulsive load share is below 0.4, UCS is 68–289 MPa, the load on the element is 0.05–2.6 kN, the edge stress satisfies $\sigma_{edge}/TRS < 0.4$, the bit body carries no more than 5% of the load, and the wear-flat area is measured. Outside this domain wear is controlled by edge fracture or chipping; roller-cone and percussive modes lie outside the criterion. This limitation follows from the physical nature of the contact-pressure number and from the dynamic analysis presented in [4].

Field journals for Ø132 mm PDC bits give a baseline cost of 675 UAH/m: tool 179 UAH/m (26.5%), trips 70 UAH/m (10.4%), rotating time 301 UAH/m (44.6%), fuel 125 UAH/m (18.5%). Table 1 reports the change in cost for measures justified by the criterion. The factor k = 0.25 / 0.50 / 0.75 is the pessimistic, base and optimistic realisation of the predicted life and rate ratios in the field.

Table 1

Change in cost per metre drilled

Measure	k = 0.25	k = 0.50	k = 0.75	Allowable bit-price premium,%
DLC coating on PDC cutters	−4.4%	−8.3%	−11.8%	18 / 37 / 56
Tilt 20° → 15°	−0.9%	−1.5%	−2.0%	3 / 5 / 7
DLC + 15° tilt	−5.2%	−9.9%	−14.1%	21 / 41 / 61
Weight on bit +50%	−10.1%	−18.2%	−24.8%	93
Rotary speed +40%	−5.3%	−9.7%	−13.4%	36
Load control as wear develops	−7.4%	−13.3%	−18.3%	67
DLC + load control	−11.3%	−19.4%	−25.6%	115

Fig. 1 shows the same comparison graphically. Operating measures (higher weight on bit, load control as the wear flat grows, higher rotary speed) produce a larger effect than design changes and incur no extra tooling cost. Combining a DLC coating with load control lowers cost per metre by 11–26%. These results are consistent with the energy-based optimisation approach [2] and with field observations of drilling parameters.

Computed life of field PDC bits, limited by the gauge cutters (radius 60 mm), is 68–190 m at 0.5–1.1 kN per cutter. Bits pulled after 39 m at the planned total depth had used only 20–57% of life; running bits to functional dulling is therefore an independent cost reserve.

In weak soils (loams, sands, clays) a WC-Co insert over a 100–150 m well wears by only 5–50% of the limiting height, so a cheaper carbide bit is more rational than PDC, and a 3–5 μm coating does not change life over a single well.

An in-house DLC line (investment 9–13 million UAH) does not pay back at 30 km of drilling per year: $NPV_8 = -3.5$ million UAH in the base case, with $P(NPV_8 > 0) = 8\%$. Break-even volume is 44 km/year ($k = 0.5$) or 31 km/year ($k = 0.75$). Contract coating is economic at a service price of up to 50–157 UAH per cutter. Establishing the field factor k requires 8–22 paired industrial runs to wear pull-out for coatings and 2–6 pairs for operating measures.

The additive form is not a fitting choice. Wear is fed by two physically distinct channels whose weights are complementary: the wear flat carries the fraction Π_σ of the axial load, and the cutting edge carries the remainder. A multiplicative combination of the same groups therefore has no physical basis and fails on the twin (error 169%).

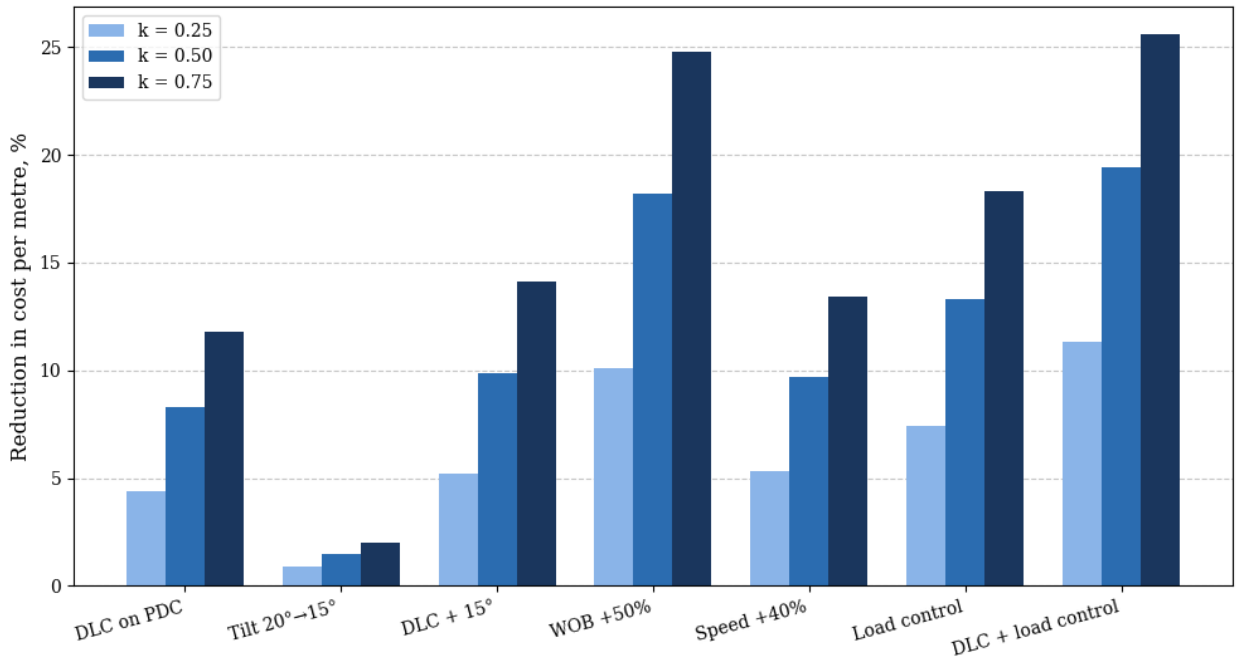


Fig. 1. Reduction in cost per metre by measure and field realisation factor k

The quartz-to-material hardness factor is what makes the two constants properties of the cutter material rather than of a tool–rock pair: once it is included, leave-one-rock-out errors stay within the scatter of the full-scale records. This is in agreement with microstructural studies [3] and with experimental data on abrasive wear of hard alloys.

The same structure explains the design rules. As the cutter is tilted back, the clearance behind the edge shrinks. Life is longest when that clearance is just at the value where the flank begins to rub; a smaller tilt leaves unused clearance and a larger tilt puts the flank into continuous friction. The penetration rate, by contrast, falls steadily as the tilt grows, because the edge meets the rock less aggressively. For PDC the compromise lies at 15–25°. Coatings act only on the abrasive channel, which carries the share of load that does not sit on the wear flat. Their benefit is therefore largest on a sharp cutter and declines as the flat grows. A DLC layer pays on PDC cutters that still cut (contact-pressure number at most about 0.3) and does not change the life of a carbide insert over a short interval in weak ground. These conclusions are consistent with the energy optimisation study [2] and with the dynamic analysis [4].

Operating measures dominate the cost table because rotating time is the largest cost item (44.6%). Raising the load moves the contact away from the penetration threshold and extends life to $\Pi_\sigma = 1$; controlling the load as the flat grows keeps the element in that regime. An in-house coating line is not justified at typical annual footage: contract coating at 50–157

UAH per cutter captures the same technical effect without the capital risk ($P(NPV_8 > 0)$ = 8% at 30 km/year). The use of machine-learning methods [8] can further improve the identification of field realisation factors and support decision-making under uncertainty.

Conclusions. The study has developed and verified a generalised dimensionless wear-intensity criterion for rock-cutting elements and has demonstrated its application to the cost-effective selection of tool design and drilling regime. The main findings are summarised below.

1. A generalised dimensionless wear-intensity criterion with two material constants describes the wear of PDC cutters and WC-Co inserts over rocks of 68–289 MPa with 9–11% error on the calibration set and 7–28% outside it.
2. RCE life is set by the contact state $\Pi_\sigma = 1$, not by a prescribed wear-flat height; it therefore increases with load on the element and decreases with rock strength. The rational load lies at the upper bound of the admissible range. This conclusion is supported by the analysis of energy consumption and by field data.
3. For Ø132 mm PDC bits the computed reduction in cost per metre is 4.4–11.8% for a DLC coating, 10–25% for a 50% increase in weight on bit, and 11–26% for coating combined with load control. Operating measures are preferable because they require no additional tooling cost and give the largest economic effect.
4. An in-house DLC line pays back only above 31–44 km of drilling per year; at 30 km/year contract coating at up to 50–157 UAH per cutter is the rational option. This result is important for investment planning in drilling companies.
5. Computed life of the field PDC bits is 68–190 m; bits pulled at planned depth had used 20–57% of life, so reuse to functional dulling is an independent cost reserve. This reserve does not require additional capital investment and can be recommended as a first-priority measure.
6. The proposed framework can be extended to other types of rock-cutting tools, including WC-Co inserts with improved microstructure, and can be combined with dynamic and machine-learning models for further refinement of wear prediction under complex drilling conditions.

The criterion provides a practical tool for drilling engineers, allowing bit design, cutter material, tilt, coating and operating parameters to be selected from the physical and mechanical properties of the rock. Its application to well drilling can reduce cost per metre and improve the planning of bit runs. Further work should focus on field validation of the realisation factor and on extending the approach to percussive and roller-cone drilling modes.

References

1. Bourgoyne, A. T., Millheim, K. K., Chenevert, M. E., & Young, F. S. (1986). *Applied drilling engineering*. Society of Petroleum Engineers.

2. Detournay, E., & Defourny, P. (1992). A phenomenological model for the drilling action of drag bits. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, 29*(1), 13–23. https://doi.org/10.1016/0148-9062(92)91041-3

3. Khomenko, V. L., Ratov, B. T., Pashchenko, O. A., Davydenko, O. M., & Borash, B. R. (2023). Justification of drilling parameters of a typical well in the conditions of the Samskoye field. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1254*(1), 012052. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1254/1/012052

4. Pashchenko, O., Koroviaka, Y., Khomenko, V., Kamyshatskyi, O., Rastsvietaiev, V., & Shypunov, S. (2026). FEM Modeling of Coupled Modes Vibrations and Rock-Cutting Elements Wear in Percussive–Rotary Drilling of Geological Materials. *Vibration*, 9(3), 50. https://doi.org/10.3390/vibration9030050

5. Pashchenko, O., Koroviaka, Y., Khomenko, V., Kamyshatskyi, O., & Shypunov, S. (2025). Studying the microstructural properties of tungsten carbide–cobalt composite materials

by advanced image processing methods. *Journal of Superhard Materials, 47*(6), 457–466. https://doi.org/10.3103/S106345762506005X

6. Pashchenko, O., Rastsvietaiev, V., Sarbopeyeva, M., Kamyshatskyi, O., & Petrenko, V. (2026). Approach to optimizing energy consumption in rock destruction through advanced design parameters of cutting elements. *Advances in Science and Technology, 172*, 77–86. https://doi.org/10.4028/p-rVq30U

7. Pashchenko, O. A., Sudakov, A. K., Dmytruk, O. I., & Hanzha, Yu. V. (2025). Theoretical foundations of the interaction of rock-cutting elements with rock in well drilling. *Scientific Bulletin of DonNTU, 1*(14), 123–134. https://doi.org/10.31474/2415-7902-2025-1-14-123-134

8. Ratov, B., Pavlychenko, A., Kirin, R., Pashchenko, O., Khomenko, V., et al. (2025). Using machine learning to model mechanical processes in mining: Theory, practice, and legal considerations. *Engineered Science, 33*, 1419. https://doi.org/10.30919/es1419

Список використаних джерел:

1. Bourgoyne, A. T., Millheim, K. K., Chenevert, M. E., & Young, F. S. (1986). *Applied drilling engineering*. Society of Petroleum Engineers.

2. Detournay, E., & Defourny, P. (1992). A phenomenological model for the drilling action of drag bits. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, 29*(1), 13–23. https://doi.org/10.1016/0148-9062(92)91041-3

3. Khomenko, V. L., Ratov, B. T., Pashchenko, O. A., Davydenko, O. M., & Borash, B. R. (2023). Justification of drilling parameters of a typical well in the conditions of the Samskoye field. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1254*(1), 012052. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1254/1/012052

4. Pashchenko, O., Koroviaka, Y., Khomenko, V., Kamyshatskyi, O., Rastsvietaiev, V., & Shypunov, S. (2026). FEM Modeling of Coupled Modes Vibrations and Rock-Cutting Elements Wear in Percussive–Rotary Drilling of Geological Materials. *Vibration*, 9(3), 50. https://doi.org/10.3390/vibration9030050

5. Pashchenko, O., Koroviaka, Y., Khomenko, V., Kamyshatskyi, O., & Shypunov, S. (2025). Studying the microstructural properties of tungsten carbide–cobalt composite materials by advanced image processing methods. *Journal of Superhard Materials, 47*(6), 457–466. https://doi.org/10.3103/S106345762506005X

6. Pashchenko, O., Rastsvietaiev, V., Sarbopeyeva, M., Kamyshatskyi, O., & Petrenko, V. (2026). Approach to optimizing energy consumption in rock destruction through advanced design parameters of cutting elements. *Advances in Science and Technology, 172*, 77–86. https://doi.org/10.4028/p-rVq30U

7. Pashchenko, O. A., Sudakov, A. K., Dmytruk, O. I., & Hanzha, Yu. V. (2025). Theoretical foundations of the interaction of rock-cutting elements with rock in well drilling. *Scientific Bulletin of DonNTU, 1*(14), 123–134. https://doi.org/10.31474/2415-7902-2025-1-14-123-134

8. Ratov, B., Pavlychenko, A., Kirin, R., Pashchenko, O., Khomenko, V., et al. (2025). Using machine learning to model mechanical processes in mining: Theory, practice, and legal considerations. *Engineered Science, 33*, 1419. https://doi.org/10.30919/es1419

УДК 550.4:553.9 (477)

МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ДОСЛІДЖЕННЯ ШЛАМОВОГО МАТЕРІАЛУ ПЕРСПЕКТИВНИХ НАФТОГАЗОМАТЕРИНСЬКИХ ПОРІД ДЛЯ ОЦІНКИ ЇХ ГЕНЕРАЦІЙНОГО ПОТЕНЦІАЛУ

Сіра Н.В.[1], *к. геол. н., ORCID ID 0009-0006-1864-8595, natasp@meta.ua,*
Левонюк С.М.[2], *доктор філософії з наук про Землю, ORCID ID 0000-0002-4073-8152, Serhii.levoniuk@ugv.com.ua;*
Мельник В.Т.[1], *ORCID ID 0009-0008-1041-2515, SlavikM@meta.ua;*
1 – ДП «Укрнаукагеоцентр», Полтава, Україна;
2 – АТ «Укргазвидобування», Київ, Україна

Піролітичні геохімічні дослідження мають на меті оптимізувати та знизити геологічні ризики при пошуку та розвідці родовищ вуглеводнів, як традиційних, так і нетрадиційних. У роботі наведені результати дослідження і оцінки похибок при визначенні основних параметрів осадових порід на приладі Rock-Eval-6. Запропоновано методологію підготовки зразків шламу з метою отримання об'єктивних даних для оцінки генераційного потенціалу нафтогазоматеринських порід.

Ключові слова: піроліз, шлам, методологія, нафтогазоматеринська порода.

METHODOLOGICAL FEATURES OF THE STUDY OF DRILLING CUTTINGS OF PROSPECTIVE SOURCE ROCKS FOR ASSESSMENT OF THEIR GENERATION POTENTIAL

Sira N.[1], *Cand. Sci. (Geol.), ORCID ID 0009-0006-1864-8595, natasp@meta.ua,*
Levoniuk S.[2], *PhD (Earth Sciences), ORCID ID 0000-0002-4073-8152, serhii.levoniuk@ugv.com.ua;*
Melnyk V.[1], *ORCID ID 0009-0008-1041-2515, SlavikM@meta.ua;*
1 – SE "Ukrnaukageocenter", Poltava, Ukraine;
2 – JSC "Ukrgazvydobuvannya", Kyiv, Ukraine

Pyrolytic geochemical studies are aimed at optimizing and reducing geological risks in the search and exploration of hydrocarbon deposits, both conventional and unconventional. The paper presents the results of the study and the assessment of errors in determining the main parameters of sedimentary rocks using the Rock-Eval-6 device. A methodology for preparing drill cuttings samples is proposed in order to obtain objective data for assessing the generation potential of oil and gas source rocks.

Keywords: pyrolysis, drilling cuttings, methodology, source rock.

Вступ. Нафта і газ посідають провідне місце в паливно-енергетичному комплексі України, а рентабельність кожного родовища вуглеводнів, як традиційного, так і нетрадиційного, залежить від якості нафтогазоматеринських порід у їх межах. Для утворення вуглеводнів необхідні нафтогазогенеруючі товщі, які зазнали оптимальної термічної дії в глибоких пластах осадового басейну. Оцінку генераційного потенціалу перспективних материнських порід дає змогу зробити дослідження керну та шламу на піролізаторі Rock-Eval з паралельним визначенням вмісту органічного вуглецю (TOC). Однак коректна інтерпретація отриманих даних можлива лише при їх співставленні з літологією, мінеральною матрицею, показником відбивальної здатності вітриніту (Ro), умовами буріння свердловини та ін. Особливу увагу вимагає дослідження та аналіз результатів шламу, оскільки компоненти бурових розчинів можуть значно впливати на отримані дані.

Виклад основного матеріалу. Метою досліджень є дослідити і оцінити похибки при визначенні основних параметрів осадових порід на приладі Rock-Eval, вивести алгоритм дослідження шламу для отримання об'єктивних результатів.

До основних параметрів належать:

– TOC – загальний вміст органічного вуглецю в породі (% мас.);

– S1 – кількість вільних вуглеводнів C_1-C_{33} в поровому просторі породи (мг ВВ/г породи);

– S2 – залишковий генераційний потенціал осадової породи (мг ВВ/г породи);

– S3 – вміст кисневих сполук CO і CO_2 (мг ВВ/г породи);

– Tmax – температура максимуму піку S2 (°C).

Визначення TOC у породі проводиться методом кулонометричного титрування за величиною pH на аналізаторі АН-7529М. Для цього зважують 0,5 г подрібненої, декарбонізованої соляною кислотою, породи і спалюють у фарфоровому «човнику» у трубчастій печі у потоці кисню при температурі 1200ºС. Показники S1, S2, S3 і Tmax визначаються на піролізаторі Rock-Eval-6.

Співвідношення цих параметрів формує основу для розрахунку різних індексів, які використовуються для інтерпретації характеристик породи (Peters & Cassa, 1994).

Tmax – відображає ступінь термічного дозрівання породи (параметр зрілості).

Водневий індекс (HI), з якого можна робити висновок про тип керогену, отримують із співвідношення параметру S2 і вмісту органічного вуглецю в породі; визначається за формулою $\frac{S2*100}{TOC}$.

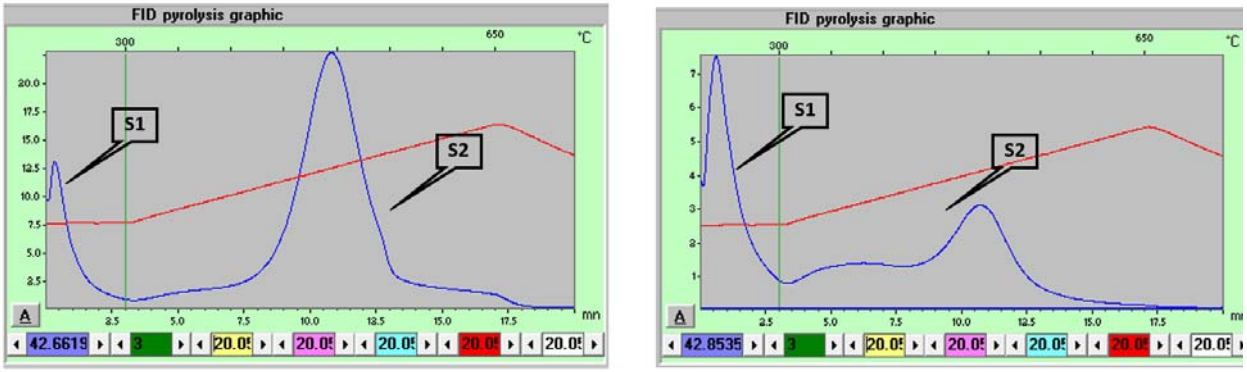
Кисневий індекс (OI), який уточнює тип керогену і його зрілість, отримують із співвідношення параметру S3 і вмісту органічного вуглецю в породі; визначається за формулою $\frac{S3*100}{TOC}$.

Індекс продуктивності TPI дозволяє зрозуміти еволюції змін органічної речовини; визначається за формулою $\frac{S1}{S1+S2}$.

Нафтогазовий потенціал PP, це індекс який представляє максимальну кількість вуглеводнів, яку досить зріла материнська порода могла б генерувати за певних умов; він визначається як сума S1 і S2.

Тобто, правильне визначення основних параметрів (TOC, S1, S2, S3, Tmax) у подальшому вплине на розрахунок індексів та коректну інтерпретацію результатів досліджень.

Бурові добавки на нафтовій чи водній основі та синтетичні матеріали, які завжди присутні у шламі, можуть призвести до спотворення величини піків S1, S2, S3, показника Tmax та вмісту TOC (Peters, 1986). Було встановлено, що у таких випадках Tmax різко знижується при паралельному збільшенні показників TOC, S1, S2 та індексів HI, TPI; пік S2 часто має бімодальну форму (рис. 1).



1 **2**

Рис. 1. Пірограми нормального (1) і бімодального (2) піку S2

Для отримання надійних результатів піролізу та визначення TOC необхідна ретельна підготовка зразків шламу. Більшість водорозчинних забруднювачів із бурового розчину на водній основі можна видалити шляхом відмивання зразків водою. Важка частина нафтових забруднювачів видаляється екстракцією органічними розчинниками, але при цьому буде

частково втрачений пік S1 (вуглеводні до C_{15}). Також рекомендується попередньо (до екстракції і піролізу) прогріти зразки протягом 2 годин при температурі 105°C, для того щоб видалити компоненти, які легші ніж приблизно вуглеводні C_{15}.

Стандартно зразки породи екстрагують хлороформом в апаратах Сокслета (American Petroleum Institute [API], 1998). Але хлороформ є дуже сильним розчинником, тому для очищення шламового матеріалу було вибрано бензол. Бензол добре екстрагує легкі нафти, масла і погано екстрагує складні смоли та бітуми, що дозволить знизити втрату природних вуглеводнів, одночасно очистивши зразки від привнесеного забруднення.

Нами була складена узагальнююча схема для підготовки до досліджень шламового матеріалу, забрудненого буровим розчином на нафтовій основі (рис. 2). Наступним кроком було проведення підготовки зразків як стандартним методом (екстрагування хлороформом), та і згідно складеної схеми.

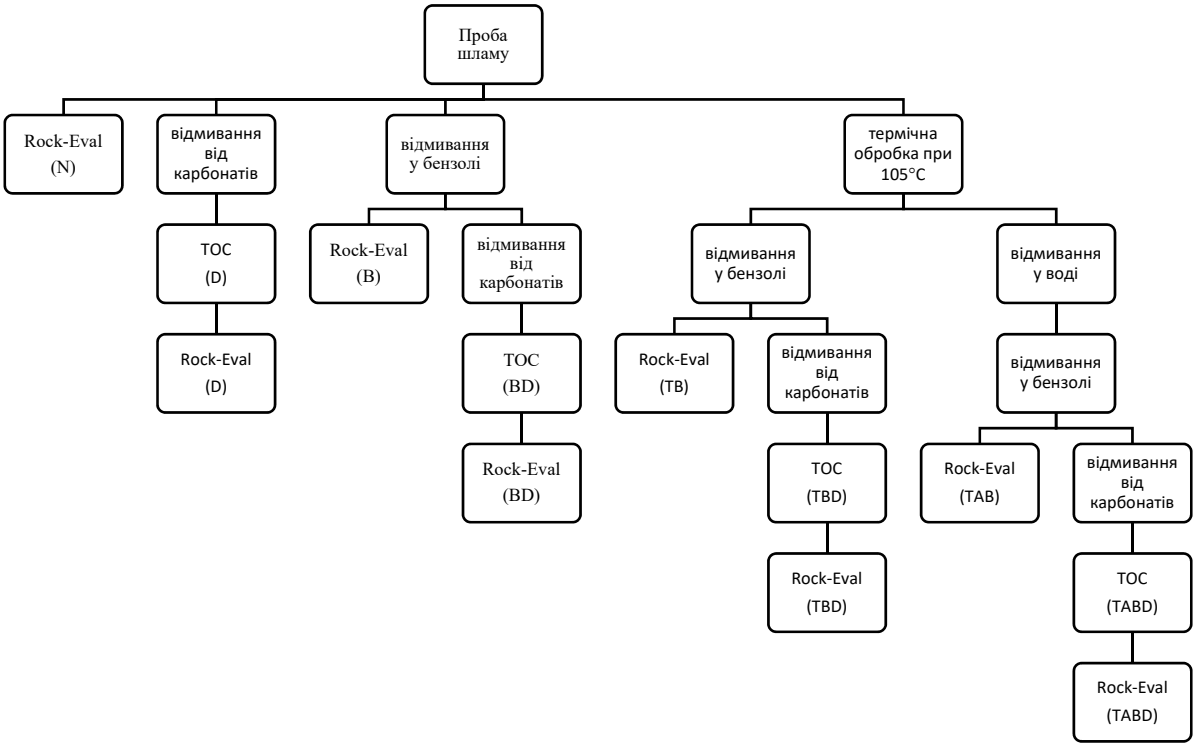


Рис. 2. Схема для підготовки до досліджень шламового матеріалу забрудненого буровим розчином на нафтовій основі

Для дослідження було відібрано сім зразків шламу (сланців) з верхньовізейських відкладів розкритих свердловиною Дніпровсько-Донецької западини з глибин 2150-2200 м. Наявність у шламі забруднення буровим розчином на нафтовій основі було підтверджено люмінісцентним аналізом. Результати визначення TOC у шламі, який забруднений (не очищений) та підготовлений різними методами, наведені в табл. 1.

Таблиця 1.

Результати визначення ТОС у шламі, який підготовлено різними методами

№ зразка	Вид підготовки				
	D Декарбо-нізовані	**Cl** Екстраговані у хлороформі та декарбонізовані	**BD** Екстраговані у бензолі та декарбонізовані	**TBD** Термічно оброблені, екстраговані у бензолі та декарбонізовані	**TABD** Термічно оброблені, екстраговані у воді, екстраговані у бензолі та декарбонізовані
	ТОС, % мас.				
1	3,9	2,9	3,0	3,0	3,1
2	6,0	5,0	4,9	5,0	5,0
3	5,7	5,1	5,1	5,4	5,4
4	5,9	5,2	5,1	5,3	5,3
5	6,7	5,8	5,9	5,8	5,9
6	3,9	3,0	3,0	3,2	3,0
7	3,1	2,4	2,4	2,4	2,5

У результаті проведених досліджень шламу установлено, що у неочищених від бурового розчину зразках вміст ТОС є завищеним на 0,4-1,0 % мас., порівняно з підготовленими зразками. Результати визначення вмісту ТОС у зразках, які підготовлено різними методами, є схожими і різниця між ними у більшості не перевищує значень 0,1 % мас., які знаходяться в межах похибки приладу. На даному етапі досліджень очевидно, що усі методи очищення дають коректні результати і тому, для скорочення термінів проведення аналізів, не має необхідності додатково термічно обробляти та екстрагувати зразки у воді: екстрагування у бензолі чи хлороформі дають достатньо об’єктивні результати.

Наступним етапом геохімічних досліджень шламу був їх аналіз на піролізній установці Rock-Eval-6 Classic S_3 з використанням програмного забезпечення RockSix. Для проведення піролізу був обраний метод Bulk Rock Basic, оскільки він дозволяє в повному обсязі визначити основні геохімічні параметри материнських товщ. Початкова температура піролізу становила 300ºС, кінцева – 650ºС, швидкість нагріву – 25ºС/хв.

Під час піролізу зразки шламу нагріваються в інертній атмосфері азоту. Нагрівання відбувається поетапно. Спочатку зразки протягом трьох хвилин витримуються при температурі 300°С (1 етап нагріву). Потім відбувається запрограмований нагрів зі швидкістю 25°С на хвилину до максимальної температури (2 етап нагріву). Під час першого етапу виділяються вуглеводні (до C_{33}). Під час наступного етапу з нерозчиненої органічної речовини (ОР) шляхом термічного крекінгу генеруються нові вуглеводневі сполуки. ОР починає виділяти окрім вуглеводнів, ще і оксиди вуглецю CO та CO_2.

Полум'яно-іонізаційний детектор (ПІД) реєструє органічні сполуки, які виділяються під час кожного етапу нагріву. Інфрачервоний детектор (ІЧД) заміряє вміст оксидів вуглецю CO та CO_2.

У табл. 2 наведена якісна та кількісна характеристика органічної речовини, що міститься в досліджуваних зразках порід шламовому матеріалу.

Аналіз результатів піролізу шламу, який підготовлено різними методами:

– Tmax, яка ідентифікує термічну зрілість породи, коректна для всіх зразків;

– зразки без підготовки (N) – дають завищені значення S1, S2 та індексів HI, TPI, PP;

– індекс продуктивності (TPI), який уточнює термічну зрілість породи, коректний для всіх зразків з підготовкою (Cl, B, TB, TAB) і корелюється з Tmax;

– зразки відмиті у хлороформі (Cl) – дають дещо занижені значення S1, S2;

– зразки, які термічно оброблені, відмиті у воді та у бензолі (TAB) – дають занижені значення S3 та індексів HI, OI;

– зразки відмиті у бензолі (В) і термічно оброблені та відмиті у бензолі (ТВ) – дають подібні між собою результати.

Таблиця 2

Результати аналізу шламу, який підготовлено різними методами, на піролізаторі Rock-Eval-6

Тип	Зразок №	S1	S2	S3CO	$S3CO_2$	Tmax	HI	OI	TPI	TOC	PP
		мгВВ/г породи	мгВВ/г породи	мг/г породи	мг/г породи	°C	мгВВ/г Сорг	мгO_2/г Сорг	S1/(S1+S2)	% ваг.	S1+S2
N	1	4,11	11,66	0,27	1,49	420	297	38	0,26	3,9	16
Cl		0,30	8,65	0,26	1,55	420	298	53	0,03	2,9	9
B		0,36	8,80	0,23	1,63	420	297	55	0,04	3,0	9
TB		0,34	8,40	0,26	1,82	422	279	60	0,04	3,0	9
TAB		0,33	10,27	0,20	0,87	421	333	28	0,03	3,1	11
N	2	5,09	22,10	0,30	1,42	419	369	24	0,19	6,0	27
Cl		0,23	11,25	1,56	1,88	421	225	38	0,02	5,0	11
B		0,55	18,31	0,34	1,65	418	371	33	0,03	4,9	19
TB		0,51	17,32	0,35	1,94	418	346	39	0,03	5,0	18
TAB		0,29	19,48	0,26	0,85	418	387	17	0,01	5,0	20
N	3	4,68	22,77	0,30	0,98	418	397	17	0,17	5,7	27
Cl		0,27	18,05	0,58	1,18	418	354	23	0,01	5,1	18
B		0,44	18,47	0,33	1,22	417	359	24	0,02	5,1	19
TB		0,46	17,91	0,34	1,17	417	329	22	0,03	5,4	18
TAB		0,74	22,27	0,25	0,42	416	414	8	0,03	5,4	23
N	4	4,35	23,58	0,27	0,93	415	403	16	0,16	5,9	28
Cl		0,38	18,84	0,40	0,91	416	362	18	0,02	5,2	19
B		0,39	19,39	0,29	1,08	418	377	21	0,02	5,1	20
TB		0,47	18,38	0,32	1,14	416	344	21	0,02	5,3	19
TAB		0,51	21,75	0,25	0,44	416	410	8	0,02	5,3	22
N	5	6,28	26,26	0,34	1,51	419	393	23	0,19	6,7	33
Cl		0,40	18,86	0,44	1,30	417	325	22	0,02	5,8	19
B		0,47	19,59	0,34	1,79	418	338	31	0,02	5,8	20
TB		0,51	20,80	0,37	1,72	420	357	30	0,02	5,8	21
TAB		1,28	24,29	0,26	0,72	419	415	12	0,05	5,9	26
N	6	4,23	12,25	0,23	1,54	419	318	40	0,26	3,9	16
Cl		0,39	6,94	0,29	1,57	419	231	52	0,05	3,0	7
B		0,37	6,62	0,27	1,88	424	218	62	0,05	3,0	7
TB		0,43	7,21	0,28	1,78	425	227	56	0,06	3,2	8
TAB		0,47	7,93	0,19	0,74	423	262	24	0,06	3,0	8
N	7	4,64	8,14	0,26	1,84	417	263	60	0,36	3,1	13
Cl		0,22	4,12	0,27	1,87	418	172	78	0,05	2,4	4
B		0,37	4,45	0,25	2,09	420	184	86	0,08	2,4	5
TB		0,38	4,57	0,23	2,06	420	189	85	0,08	2,4	5
TAB		0,42	5,00	0,23	1,24	422	202	50	0,08	2,5	5

N – зразки без підготовки; Cl – зразки відмиті у хлороформі; B – зразки відмиті у бензолі;
ТВ – зразки термічно оброблені та відмиті у бензолі;
ТАВ – зразки термічно оброблені, відмиті у воді та у бензолі

Згідно з проведеним аналізом досліджень установлено, що з усіх методів підготовки зразків шламового матеріалу забрудненого буровим розчином на нафтовій основі, саме зразки, які відмиті у бензолі (В) і термічно оброблені та відмиті у бензолі (ТВ), дають подібні між

собою результати, які, в той же час, є об'єктивними і отримані показники корелюються між собою та з показником відбивальної здатності вітриніту (Ro=0,48-0,50). У той же час другий метод (ТВ) збільшує тривалість підготовки до досліджень.

Висновки. Оскільки піролітичні геохімічні дослідження на приладі Rock-Eval мають на меті оптимізувати та знизити геологічні ризики при пошуку та розвідці родовищ вуглеводнів, як традиційних, так і нетрадиційних, виняткову увагу потрібно приділяти правильному відбору і підготовці зразків породи. Особливо це важливо, коли не має можливості відібрати керновий матеріал і для дослідження використовується шлам. Згідно проведеного аналізу різних методів підготовки зразків шламу, який забруднений вуглеводневими компонентами бурових розчинів, з метою скорочення термінів досліджень і отримання об'єктивних даних, пропонується виконувати піроліз Rock-Eval на зразках шламу проекстрагованих у бензолі (В), а для визначення ТОС – ще й додатково декарбонізованих. Отримана інформація інтерпретується з обов'язковим врахуванням усіх додаткових досліджень, що проводяться паралельно: вивченням літології, мінеральної матриці, показником відбивальної здатності вітриніту (Ro) та ін.

References:

American Petroleum Institute. (1998). *Recommended practices for core analysis* (API RP 40; 2nd ed.). API Publishing Services [in English].

Peters, K.E. (1986). Guidelines for evaluating petroleum source rock using programmed pyrolysis. *AAPG Bulletin*, *70(3)*, 318-329 [in English].

Peters, K. E., & Cassa, M. R. (1994). Applied source rock geochemistry. In L. B. Magoon & W. G. Dow (Eds.), *The petroleum system from source to trap* (pp. 93–120). American Association of Petroleum Geologists [in English].

УДК 553.9

ПРОБЛЕМНІ ПИТАННЯ ФОРМУВАННЯ МАТЕРІАЛІВ ГЕОЛОГО-ЕКОНОМІЧНОЇ ОЦІНКИ ВУГЛЕВОДНІВ, ЩО ПОДАЮТЬСЯ НА ДЕРЖАВНУ ЕКСПЕРТИЗУ ТА ОЦІНКУ

Паюк С.О., *golova@dkz.gov.ua;* ***Соболь В.В.,*** *vasyl.sobol@dkz.gov.ua,*
Сімаченко Г.В., *simachenko@dkz.gov.ua;* ***Міщенко Л.О.,*** *l.mich@dkz.gov.ua;*
Гоцинець О.В., *vassanova@dkz.gov.ua,*
Державна комісія України по запасах корисних копалин, Київ, Україна

Розглянуто типові помилки і недоліки по застосуванню Класифікації при складанні геолого-економічної оцінки вуглеводнів надрокористувачами; недоліки у методиці проведення геологічного вивчення, у т. ч. дослідно-промислової розробки, а також при підготовці матеріалів геолого-економічної оцінки до розгляду Державною комісією України по запасах корисних копалин.

Звернено увагу на запропоновані нові методичні підходи та поняття при внесенні змін до Інструкції із застосування Класифікації запасів і ресурсів корисних копалин державного фонду надр до геолого-економічного вивчення ресурсів перспективних ділянок та запасів родовищ нафти і газу.

Ключові слова: геолого-економічна оцінка, вуглеводні, поклад, родовище.

ISSUES DURING THE PREPARATION OF GEOLOGICAL AND ECONOMIC ASSESSMENT MATERIALS FOR HYDROCARBONS SUBMITTED FOR STATE EXPERT APPRAISAL AND ASSESSMENT

Paiuk S., *golova@dkz.gov.ua;* ***Sobol V.,*** *vasyl.sobol@dkz.gov.ua,*
Simachenko H., *simachenko@dkz.gov.ua;* ***Міщенко Л.О.,*** *l.mich@dkz.gov.ua;*
Hotsynets O., *vassanova@dkz.gov.ua,*
State Commission of Ukraine on Mineral Resources, Kyiv, Ukraine

Typical errors and shortcomings in the application of the Classification by subsoil users while preparing geological and economic assessments of hydrocarbons and shortcomings in the methodology used to conduct geological studies, including exploratory and commercial development, as well as during the preparation of geological and economic assessment materials submitted to the State Commission of Ukraine on Mineral Resources, have been examined.

Attention has been drawn to proposed new methodological approaches and concepts when amending the Instructions on the application of the classification of mineral reserves and resources of the State subsoil fund to the geological and economic study of resources in prospective areas and reserves of oil and gas fields.

Keywords: geological and economic assessment, hydrocarbons, occurrence, deposit.

Станом на 01.07.2026 р. на базі діючих нормативно-правових документів Державна комісія України по запасах корисних копалин (далі – ДКЗ) здійснила державну експертизу матеріалів понад 600 геолого-економічних оцінок (далі – ГЕО) родовищ вуглеводнів, по багатьох родовищах геолого-економічна оцінка виконувалась неодноразово.

Щорічно ДКЗ здійснює аналіз та узагальнення результатів державної експертизи матеріалів ГЕО родовищ вуглеводнів, що дозволяє визначати типові помилки і недоліки, які зводяться до наступних:

– несвоєчасне подання матеріалів ГЕО на експертизу і затвердження запасів після 10–15 років дослідно-промислової розробки, коли пласти вже виснажені, а обґрунтування та впровадження методів підтримання пластового тиску втрачає ефективність;

– невідповідність фактичного видобутку вуглеводнів на родовищі з облікованими у Державному балансі запасів корисних копалин України;

– тривале усунення зауважень та приведення матеріалів ГЕО у відповідність до вимог Класифікації запасів і ресурсів корисних копалин державного фонду надр, затвердженої постановою Кабінету Міністрів України від 5 травня 1997 р. № 432 (далі – Класифікація) та Інструкції із застосування Класифікації запасів і ресурсів корисних копалин державного фонду надр до геолого-економічного вивчення ресурсів перспективних ділянок та запасів родовищ нафти і газу, затвердженої наказом ДКЗ від 10 липня 1998 року № 46 та

зареєстрованої в Міністерстві юстиції України 24 липня 1998 р. за № 475/2915 (далі – Інструкція) під час виконаної експертизи;

– несвоєчасне виконання чи аналіз надрокористувачами рекомендацій ДКЗ;

– оптимістичні обсяги приростів запасів під час геологічного вивчення (у т. ч. промислової розробки) з їх подальшим списанням при затвердженні ДКЗ;

– недостатнє обґрунтування застосування підрахункових параметрів при підготовці матеріалів ГЕО.

Крім наведених загальних зауважень визначено низку недоліків у методиці проведення геологічного вивчення та дослідно-промислової розробки, а також при підготовці родовищ до розгляду в ДКЗ:

– відсутність надійних сейсмічних даних, які б підтверджували модель родовища з одночасним корелюванням результатів пробурених свердловин;

– відсутність в достатній кількості зразків кернового матеріалу, вивченого по покладах родовищ, що знижує достовірність встановлених петрофізичних зв'язків для визначення граничних параметрів;

– не дотримується вимога щодо відбору керну з продуктивної частини в експлуатаційних свердловинах, що передбачено Правилами розробки нафтових і газових родовищ [3], у випадках недостатньої кількості досліджень зразків колекторів;

– порушення регламентованої періодичності досліджень при дослідно-промисловій та промисловій розробці;

– відсутність або несвоєчасне вимірювання початкових і поточних пластових тисків глибинними приладами;

– неможливість визначення достовірності запасів за методом матеріального балансу при відсутності необхідної кількості якісних замірів пластового тиску;

– недостатнє або неякісне вивчення пластових вуглеводневих систем.

У загальному, зауваження щодо оформлення матеріалів геолого-економічної оцінки запасів родовищ, що подаються на експертизу до ДКЗ, можна звести до наступних:

– невідповідність результатів випробувань в різних частинах звіту і на графічних додатках, що ставить під сумнів достовірність підрахованих запасів вуглеводнів та технологічних рішень щодо розробки родовища;

– при підготовці графічних додатків всі позначки або знаки на графічних матеріалах мають бути відображені відповідно до умовних позначень, які прийняті нормативними документами та оформлені окремим графічним додатком;

– підрахункові плани і карти ефективних товщин мають бути представлені у масштабі, прийнятному для перевірки;

– недостатня висвітленість геологічної будови продуктивної частини родовища наявними розрізами;

– відсутність карт співставлення контурів покладів, поданих на експертизу, з контурами покладів, що обліковані у Державному балансі;

– відсутність якісного аналізу проведеної дослідно-промислової розробки родовища;

– відсутність обґрунтованого аналізу підготовленості родовища до промислової розробки;

– техніко-економічне обґрунтування перспектив розробки родовища (покладу) оцінюється за єдиним варіантом, за відсутності одного-двох варіантів подальшої розробки, з яких визначається оптимальний варіант;

– практично не розглядаються варіанти освоєння родовищ з підтриманням пластового тиску;

– відсутні рекомендації щодо удосконалення системи розробки родовищ.

У 2025 р. Кабінет Міністрів України ухвалив постанову № 1197 «Про внесення змін до Класифікації запасів і ресурсів корисних копалин державного фонду надр» [4], яка сприяє гармонізації національної системи підрахунку й обліку запасів у відповідність до Рамкової класифікації ресурсів ООН (UNFC/РКООН-2019). Цей підхід застосовується в

країнах Європейського Союзу та є обов'язковим для оцінки стратегічних проєктів у межах Регламенту ЄС про критичну сировину (Critical Raw Materials Act).

Постанова визначає єдині принципи геолого-економічної оцінки та державного обліку запасів залежно від їх соціально-економічного і промислового значення, рівня геологічної вивченості та готовності родовищ до промислового освоєння. Це створює умови для переоцінки стратегічної та критичної сировини за стандартами, зрозумілими для інвесторів, дозволяє ефективніше готувати об'єкти до аукціонів та угод про розподіл продукції, визначає прозорі й зрозумілі для інвесторів правила, забезпечує інтеграцію України в європейський простір і формує підґрунтя для розвитку ринку стратегічних і критичних матеріалів.

Виходячи з цього постала необхідність оновлення та узгодження Інструкції та Методичних вказівок з підрахунку запасів та оцінки ресурсів нафти та газу у надрах і їхньої класифікації (далі – Методичні вказівки) [1] та приведення їх у відповідність до Класифікації.

Процес оновлення нормативно-правових документів та їх узгодження на основі сучасних підходів до методики підрахунку запасів вуглеводнів триває постійно.

Так, з 2025 р. застосовуються нові методичні підходи до класифікації запасів, які раніше відносились до попередньо розвіданих з невизначеним промисловим значенням коду класу 332 [2], оскільки Методичні вказівки в окремих аспектах не узгоджуються з Інструкцією і Класифікацією та потребували доопрацювання, у т.ч. в частині геолого-економічної оцінки попередньо розвіданих запасів з невизначеним промисловим значенням коду класу 332.

Під час опрацювання та експертизи поданих на розгляд ДКЗ матеріалів з ГЕО вуглеводнів та складання протоколів ДКЗ постійно виникають деякі методичні невідповідності, своєчасне усунення яких значно покращить якість проведення державної експертизи матеріалів ГЕО запасів вуглеводнів, а саме:

1. За необхідності в матеріалах ГЕО надавати таблицю з розподілом обсягів видобутку і дренованих запасів свердловиною (свердловинами) по горизонтах (пластах) у зв'язку з визначенням поточних видобувних запасів по покладах;

2. Контроль відповідності величин поточних видобувних запасів та обсягів видобутку за оптимальним варіантом згідно з техніко-економічними показниками;

3. На практиці при підрахунку запасів у деяких випадках виникає ситуація, коли дреновані запаси автори обмежували умовним газоводяним контактом (УГВК), аналогічно як у випадку виділення і підрахунку ресурсів вуглеводнів. Такий підхід методологічно не вірний, адже дреновані обсяги вуглеводнів відносяться до запасів.

Для таких випадків оновлена редакція Інструкції передбачає введення нового поняття умовного контуру дренованих запасів (далі – УКДЗ).

УКДЗ визначається у разі істотного (понад 20 %) перевищення обсягу дренованих запасів над обсягом, що визначений об'ємним методом до рівня НГВП. При цьому для оцінки дренованих запасів потрібно не менше трьох прямих замірів пластового тиску, а обсяги видобутку мають складати не менше 20 % запасів, оцінених за цим методом.

У разі, коли обсяг видобутку вуглеводнів перевищує 50 % видобувних запасів – всі обсяги запасів вуглеводнів в межах прийнятого УКДЗ можуть бути віднесені до розвіданих.

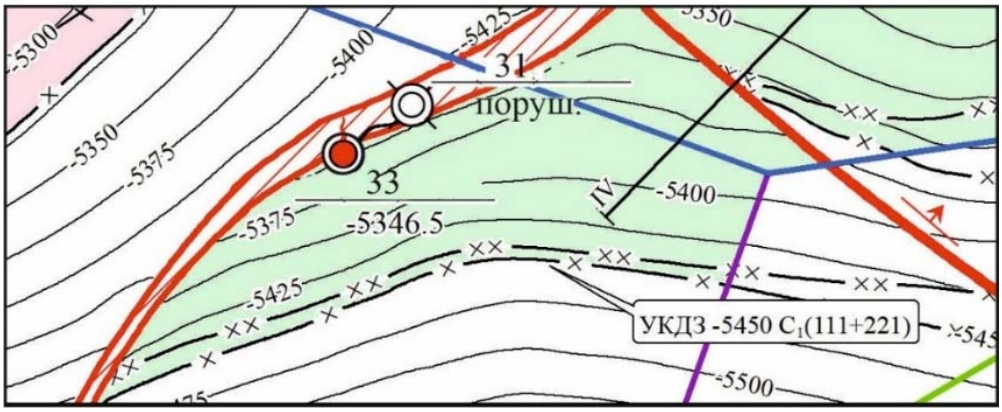


Рис. 1. Фрагмент підрахункового плану газоконденсатного покладу з розвіданими запасами кодів класів 111+221

В іншому випадку – обсяг запасів в межах НГВП або обсяг запасів, що дорівнює обсягу видобутку відносяться до розвіданих, а решта – до попередньо розвіданих.



Рис. 2. Фрагмент підрахункового плану газоконденсатного покладу з розвіданими запасами кодів класів 111+221 та попередньо розвіданими запасами кодів класів 122+222

4. Для покладів продуктивних пластів, в яких міститься незначна кількість вуглеводнів, а також якщо видобуток з таких покладів становить менше 0,5 млн м^3 (тис. т) застосовувати позначення «н.к.».

На даний час всі авторські колективи розуміють вимоги Класифікації запасів і ресурсів вуглеводнів державного фонду надр, законодавчі вимоги та поетапність розгляду матеріалів ГЕО Державною комісією України по запасах корисних копалин і, відповідно, професійно розробляють і оформлюють матеріали ГЕО родовищ вуглеводнів.

Разом з тим варто відзначити фаховий внесок експертів ДКЗ при здійснені перевірки та аналізу поданих матеріалів ГЕО родовищ нафти і газу, оцінці повноти та якості виконаних геологорозвідувальних робіт, достовірності запасів вуглеводнів і підготовленості їх до найповнішого та раціонального використання, кондицій для підрахунку запасів вуглеводнів, що забезпечує приведення матеріалів ГЕО у відповідність до вимог чинного законодавства.

Після державної експертизи ГЕО родовищ та затвердження запасів вуглеводнів надрокористувач проводить геологорозвідувальні та видобувні роботи, які базуються на кваліфіковано перевірених і обґрунтованих геологічних, технологічних та економічних показниках. Важливість державної експертизи важко переоцінити, але необхідно відзначити і важливість відповідальності та фаховості авторських колективів, що безпосередньо формують матеріали ГЕО.

Список використаних джерел:

1. Методичні вказівки з підрахунку запасів та оцінки ресурсів нафти та газу у надрах і їхньої класифікації. *Наказ Державної комісії України по запасах корисних копалин від 29.12.2016 № 775*. Режим доступу: https://dkz.gov.ua/ua/diyalnist/normativno-pravova-baza

2. Паюк С.О., Сімаченко Г.В., Гоцинець О.В. Потенціал запасів газу природного з невизначеним промисловим значенням для нарощування ресурсної бази газовидобутку. *Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування*. Матеріали Десятої міжнародної науково-практичної конференції (6-10 жовтня 2025 р., м. Львів). Державна комісія України по запасах корисних копалин (ДКЗ). К.: ДКЗ, 2025. С. 328-334.

3. Правила розробки нафтових і газових родовищ: затверджено наказом Міністерства екології та природних ресурсів України 15.03.2017 № 118. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України
02 червня 2017 р. за № 692/30560. Офіційний вісник України від 30.06.2017 – 2017 р., № 51, стор. 56, стаття 1578, код акта 86363/2017. Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0692-17?find=1&text=%D0%BA%D0%B5%D1%80%D0%BD#w1_1

4. Про внесення змін до Класифікації запасів і ресурсів корисних копалин державного фонду надр: затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 5 травня 1997 р. № 432 (в редакції постанови Кабінету Міністрів України від 25 вересня 2025 р. № 1197). Офіційний вісник України від 28.10.2025 – 2025 р., № 84, стаття 5730, код акта 134853/2025. Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1197-2025-%D0%BF#Text

UDC 550.36:553.7:551.24(477.87)

REFINEMENT OF GEOTHERMAL ZONING OF THE TRANSCARPATHIAN INNER DEPRESSION BASED ON GEOTHERMAL PLAY CLASSIFICATION

Liventseva H., *ORCID 0000-0001-8203-6282, hliventseva@geo3bcn.csic.es,*
Geosciences Barcelona, CSIC, Spain, Barcelona

This study builds upon the previous stage of geothermal zoning of Ukraine based on the classification of geothermal plays. Six principal first-order geothermal plays in Ukraine were previously identified and characterized. In the present study, one of these plays is further refined at a lower hierarchical level.

The Transcarpathian Inner Inner Depression was selected as the study area. Within its boundaries, three second-order geothermal plays were identified according to Moeck's criteria, namely the dominant heat-transfer mechanism, tectonic setting, and reservoir type. Thus, three distinct geothermal plays coexist within a single Neogene depression: the Chop-Mukachevo Depression, which is a direct continuation of the Pannonian Depression and represents an intracratonic basin play of the Pannonian type, with predominantly conductive heat transfer and a hybrid index (CD-2a+CV3, Pannonian-type); the Solotvyno Depression, an isolated molasse basin of the evaporite subtype with predominantly conductive heat transfer (CD-2a, Salt Basin); the Vyhorlat-Hutyn Volcanic Ridge, as part of the Neogene volcanic complex of the Transcarpathian Inner Depression, belonging to the convective-dominated magmatic type (CV-1a, Magmatic Extrusive).

Keywords: geothermal play, geothermal zoning, conductive and convective heat-transfer mechanisms

Introduction. This study is a direct continuation of the research by Barylo & Liventseva [1] on geothermal zoning of Ukraine according to the geothermal play classification of Moeck [2]. Whereas the previous stage identified six basic first-order geothermal plays, the present study provides internal refinement of the Transcarpathian Inner Depression/ Transcarpathian Depression (TD) at lower hierarchical levels.

The thermal regime of Ukraine is largely controlled by the presence of the Ukrainian Shield and other segments of the East European Platform, which underlie most of the country.

Overall, Ukraine is characterized by a moderate thermal background, predominantly within the range of 30–50 mW/m² (from 20 mW/m² in stable platform areas to 130 mW/m² in orogenic zones).

There are no active volcanic or magmatic formations in Ukraine that are typically associated with convective-type (CV) geothermal systems. Therefore, all major geothermal systems in Ukraine belong to the conductive category, particularly types CD1 and CD2, or, in the case of lower-order structures, to hybrid types.

Structures of the Carpathian region are characterized by favorable geothermal conditions; however, the low filtration properties of the reservoirs (primarily porosity and permeability) determine their classification as CD2-type plays.

Hierarchical refinement of geothermal plays within the Transcarpathian Inner Depression. The Transcarpathian Depression is characterized by high heat-flow values and numerous manifestations of magmatism. During the final stage of its evolution, the depression underwent substantial restructuring associated with the formation of the extensive Pannonian Depression in the Neogene, accompanied by fragmentation and thinning of the Earth's crust as well as renewed magmatic activity. Thus, formation of the depression was accompanied by an influx of deep-seated material and a significant increase in the temperature of the crust and upper mantle in this region. Crustal thickness in the Carpathian region varies by more than a factor of two. The minimum depth is recorded in the Pannonian Depression (25–27 km), whereas the maximum is observed in the Carpathian Foredeep (55–56 km) [3].

Within Ukraine, the TD comprises two depressions that differ in structure and geological evolution – the Chop-Mukachevo and Solotvyno depressions – separated by the Vyhorlat-Hutyn Volcanic Ridge. To the northeast, the Transcarpathian deep fault separates the Transcarpathian Depression from the Folded Carpathians. To the southwest, the Peri-Pannonian deep fault separates it from the Pannonian Depression. A system of tectonic faults divides the TD into three zones elongated along the Carpathians: the northeastern zone of monoclinal subsidence, the central

zone, and the southwestern zone of deep faults. The structure of the Transcarpathian Depression, including its basement, is of fold-and-thrust character. The crust in this area thins to 22–30 km and includes a sedimentary layer 1–3.5 km thick, composed of Neogene molasse deposits overlying two levels of folded basement formed by metamorphosed Mesozoic–Paleozoic deposits.

The sedimentary succession is highly heterogeneous and has a block structure. It contains numerous tectonic disturbances in the form of strike-slip faults, detachments, and thrusts, as well as numerous paleovolcanoes, batholiths, and effusive volcanic ridges, including the Vyhorlat-Hutyn Ridge. The thickness of Neogene sedimentary deposits varies within a wide range. In the northeastern part of the depression, it does not exceed 500–700 m and locally pinches out completely. Neogene deposits are often overlain by effusive rocks of the Vyhorlat-Hutyn Volcanic Ridge. Southwestward, the Neogene succession thickens to 2,000 m and more (up to 3,500 m). Brachyanticlines and salt-diapir folds are widely developed here and are particularly characteristic of the Solotvyno Depression.

The TD is the most strongly heated part of Ukraine and is characterized by highly complex geothermal conditions. High temperatures are typical throughout the TD: 40–45°C at a depth of 500 m, 70–75°C at 1,000 m, and 100–105°C at 2,000 m. At a depth of 1,000 m in the Inner Zone of the Carpathian Foredeep, temperatures are approximately three times lower, at 20–25°C. The geothermal parameters are distributed as follows (Table 1):

Table 1

Geothermal characteristics of the Chop-Mukachevo and Solotvyno depressions (after Kutas [4])

Parameter	Solotvyno Depression	Chop-Mukachevo Depression
1000 m (Temperature, °C)	45–60	55–70
2000 m (Temperature, °C)	75–100	90–115
3000 m (Temperature, °C)	100–120	130–155
Geothermal gradient	3.5–4.0°C/100 m	4.0–5.5°C/100 m
Heat-flow density	70–100 mW/m²	85–120 mW/m²

Particularly high temperatures within the TD are observed in the central part of the Chop-Mukachevo Depression.

The uneven heat distribution is controlled by the structural evolution and geological architecture of the region. Depending on tectonic conditions, geothermal gradients, heat-flow values, and the pattern of temperature increase with depth vary considerably [3].

The TD is characterized by high heat-flow values of 70–130 mW/m², while geothermal gradients vary from 5.0 to 8.0°C/100 m. The elevated thermal background is associated with asthenospheric upwelling and vertical flows of heat and mass originating in the deep mantle. Thick clay-rich deposits act as insulating layers that retain internal heat. Deep faults serve as conduits for warm fluids, producing positive thermal anomalies. Conversely, salt diapirs act as pathways for heat dissipation, contributing to the formation of negative anomalies.

Hydrogeologically, the TD represents a complex groundwater system. Aquifers composed of sandstones, conglomerates, and tuffs are discontinuous and separated by thick clay layers. The zone of active groundwater exchange is generally restricted to depths of 100–600 m. The presence of rock salt and gypsum results in increased groundwater mineralization, while the overall water content of these aquifers is low.

The Folded Carpathians serve as the regional recharge area for numerous aquifers within the sedimentary succession of the TD: along faults and fractures in the weathering crust of the mountain structure, cold meteoric water enters the aquifers and descends to considerable depths, reaching the basement rocks, where it is heated mainly by conductive heat flow.

The filtration properties of the TD aquifer system depend largely on the degree of fracturing and karstification of the host rocks, which limits active circulation of thermal fluids.

This study proposes a novel approach to indexing the geothermal plays of the Transcarpathian Depression, refining and supplementing existing concepts.

According to the geothermal play classification, the three structures of the Transcarpathian Inner Depression correspond to the following subtypes: the Chop-Mukachevo Depression, CD-

2a+CV3; the Solotvyno Depression, CD-2a; and the Vyhorlat-Hutyn Volcanic Ridge, CV-1a (Table 2).

Table 2

Geothermal play subtypes in Transcarpathian geological conditions

Structure	Geodynamic setting		Heat source	Heat storage and transfer conditions
Chop-Mukachevo Depression	CD-2a + CV3	Extensional setting	The mantle, which is the principal heat source (volcanism is absent), is uplifted as a result of crustal extension and thinning. High thermal gradients promote heating of meteoric water circulating through deep faults.	The sedimentary cover contains thick clay-rich successions that promote heat accumulation and retention.
Solotvyno Depression	CD-2a	Orogenic belt	A sedimentary reservoir located within a foredeep or an orogenic mountain belt. Heat source / reservoir capacity properties: sedimentary aquifers with high porosity and either high or low permeability.	The dominant heat-transfer mechanism is controlled by faults/fractures or lithofacies/biofacies characteristics. Salt diapirs and deep faults act as heat-transfer conduits.
Vyhorlat-Hutyn Volcanic Ridge	CV-1a	Extrusive magmatism	A shallow, intense heat source in the form of a young magma chamber, with an upflow zone and an outflow zone controlled by volcanic topography.	Magmatic-hydrothermal circulation

Conclusions

1. The Chop-Mukachevo Depression forms part of, and is a continuation of, the large Pannonian megabasin, characterized by pronounced Neogene crustal extension. The principal controlling factor is crustal thinning and the associated anomalously high geothermal gradient and heat flow.

Heat-transfer mechanism: predominantly convective (circulation of thermal waters along faults and permeable horizons).

Geothermal play subtype: despite the unquestionably decisive role of convective heat transfer during the initial stages of structural development, the present-day thermal regime of the depression is formed to a greater extent by conductive components, i.e., by temperature gradients from more strongly heated rock layers toward less heated ones. Convective factors predominate only in areas of active tectonic faults and are local in character. The play subtype is hybrid CD-2a + CV3.

2. The Solotvyno Depression constitutes the eastern part of the Transcarpathian Inner Depression, a Neogene structure superimposed on the folded flysch basement of the Carpathian fold-and-thrust belt. The principal heat source here is normal geobaric heating of large rock masses associated with burial.

Heat-transfer mechanism: conduction dominates, while deeply buried sedimentary aquifers act as reservoirs.

Geothermal play subtype: CD-2a: Orogenic Belt (conductive-dominated play of orogenic belts / foreland and intermontane depressions).

3. The Vyhorlat-Hutyn Volcanic Ridge is a structurally complex geological body represented by interlayered lavas and pyroclastic rocks, together with packages of sedimentary and tuffaceous-sedimentary rocks, formed as a result of relatively young (Late Miocene–Pliocene) volcanic activity. The principal heat source is represented by shallow magmatic bodies or residual heat from relatively young intrusions beneath the volcanic edifices.

Heat-transfer mechanism: magmatic-hydrothermal circulation of fluids within fractured effusive and pyroclastic rocks.

Geothermal play subtype: Magmatic Play Types – Extrusive CV-1a.

The results obtained complement and refine the conclusions presented by Virshylo et al. [5].

This refinement became possible through the application of additional ranking criteria, in particular by integrating the geothermal play classification of Moeck [1], which is based on detailed analysis of geological controls and groundwater dynamics.

References

1. Barylo, A., & Liventseva, H. (2025). Preliminary zoning of the territory of Ukraine based on the geothermal play types. *Geothermal Energy*, *13*(1), Article 39. https://doi.org/10.1186/s40517-025-00364-3

2. Moeck, I. S. (2014). Catalog of geothermal play types based on geologic controls. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 37, 867–882. https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.05.032

3. Subbotin, S. I., & Kutas, R. I. (Eds.). (1974). *Glubinnyy teplovoy potok evropeyskoy chasti SSSR* [Deep heat flow of the European part of the USSR]. Naukova Dumka.

4. Kutas, R. I. (2021). Geothermal conditions and Earth crust degassing in Transcarpathian depression. In *Renewable energy and energy efficiency in the XXI century* (pp. 744–747). Institute of Renewable Energy of NASU. https://ela.kpi.ua/bitstreams/022a3da3-ac11-4226-a7c3-14314f6dbbd2/download

5. Virshylo, I., Loktiev, A., Gordienko, I., & Kitchka, A. (2025). Geothermal potential of the Ukrainian part of the Pannonian Basin. *Geological Society, London, Special Publications*, *555*(1), Article gslspecpub2024-24. https://doi.org/10.1144/gslspecpub2024-24

УДК 551.44:622.831:553.6:338.2

ВРАХУВАННЯ РИЗИКІВ АКТИВІЗАЦІЇ КАРСТУ ДЛЯ ЖИТЛОВОЇ ЗАБУДОВИ ТА ГІРНИЧИХ ОБ'ЄКТІВ ПРИ ГЕОЛОГО-ЕКОНОМІЧНІЙ ОЦІНЦІ ПОТЕНЦІЙНИХ РОДОВИЩ РОПИ ІЗ ЗОНИ СОЛЯНОГО ДЗЕРКАЛА КАРПАТСЬКОГО РЕГІОНУ

Дяків В.О.*[1]*, *к. геол. н., dyakivw@yahoo.com;*
Бунда О.Р.*[2]*, *drohobych.saltworks@gmail.com,*
Улицький О.А.*[3]*, *д. геол. н., професор, olegulytsky@gmail.com,*
Хевпа З.З.*[3]*, *к. геол. н., : zenonzxv@gmail.com,*
1 – ЛНУ імені Івана Франка; ТзОВ «Інститут «ГІРХІМПРОМ», Львів, Україна,
2 – ТзОВ «Дрогобицька Солеварня», Дрогобич, Україна,
3 – ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», Київ, Україна

Встановлені найважливіші ризики активізації карсту для житлової забудови і гірничих об'єктів при геолого-економічній оцінці потенційних родовищ ропи із зони соляного дзеркала Карпатського регіону. Найсприятливіші умови мінімального ризику розвитку природного соляного карсту притаманні для з карстових гідрогеологічних систем із віддаленою зоною живлення та найбільш протяжною зоною транзиту, таких як Королівський шурф Дрогобицької солеварні глибиною 47,7 м, що експлуатується понад 550 років із мінімальними проявами карстових деформацій. Мінімальні ризики довготривалого проявлення техногенно-активізованого карсту притаманні для потенційних родовищ на значній глибині – 150-200 м, на віддалі понад 500 м від житлових будівель, гірничих об'єктів або інших відповідальних споруд. По мірі зниження цих параметрів, карстологічні ризики зростають, аж до не допустимі та катастрофічних. Категорично не припускається видобування ропи із зони «соляного дзеркала» в межах гірничого відводу гірничо-видобувних підприємств, що розробляють соляні родовища у відповідності із чинними нормативними вимогами та при геолого-економічній оцінці карстологічні ризики таких потенційних родовищ ропи, слід оцінювати як неприпустимі, що загрожують катастрофічними наслідками. Карстологічні ризики є головними обмежуючими чинниками при видобуванні ропи із зони «соляного дзеркала» потенційних родовищ ропи Карпатського регіону..

Ключові слова: Соляні відклади, природний та техногенно-активізований карст, карстова гідрогеологічна система, ропа, мінералізовані розчини, ризики.

CONSIDERATION OF KARST ACTIVATION RISKS FOR RESIDENTIAL DEVELOPMENTS AND MINING FACILITIES DURING THE GEOLOGICAL-ECONOMIC ASSESSMENT OF POTENTIAL BRINE DEPOSITS IN THE SALT MIRROR ZONE OF THE CARPATHIAN REGION

Dyakiv V.*[1]*, *Cand. Sci. (Geol.), dyakivw@yahoo.com;*
Bunda O.*[2]*, *drohobych.saltworks@gmail.com,*
Ulytskyi O.*[3]*, *Dr. Sci. (Geol.), Professor, olegulytsky@gmail.com,*
Khevpa Z.*[3]*, *Cand. Sci. (Geol.),zenonzxv@gmail.com,*
1 – Ivan Franko National University of Lviv; LLD "Institute" GIRHIMPROM ", Lviv, Ukraine,
2 – LLC «Drohobych Salt-Boiling Plant», Drohobych, Ukraine,
3 – State Institution "Institute of Geochemistry of the Environment of the National Academy of Sciences of Ukraine," Kyiv, Ukraine

Key risks associated with the activation of karst processes affecting residential developments and mining facilities have been identified during the geological and economic assessment of potential brine deposits located in the "salt mirror" zone of the Carpathian region. The most favorable conditions—characterized by minimal risk of natural salt karst development—are found in karst hydrogeological systems featuring a distant recharge zone and an extensive transit zone; an example is the "Korolivskyi" shaft at the Drohobych saltworks (47.7 m deep), which has been in operation for over 550 years with minimal signs of karst-related deformation. Minimal risks of long-term, anthropogenically induced karst activity are associated with potential deposits located at significant depths (150–200 m) and at a distance of more than 500 m from residential buildings, mining facilities, or other critical structures. As these parameters decrease, karst-related risks rise, reaching levels classified as unacceptable or catastrophic. The extraction of brine from the "salt mirror" zone within the mining lease areas of enterprises currently

exploiting salt deposits in compliance with applicable regulations is strictly prohibited; furthermore, during geological and economic assessments, the karst-related risks associated with such potential brine deposits must be deemed unacceptable due to the threat of catastrophic consequences. Karst-related risks are the primary limiting factors in brine extraction from the "salt mirror" zone of potential brine deposits in the Carpathian region.

Keywords: salt deposits, natural and anthropogenically induced karst, karst hydrogeological system, brine, mineralized solutions, risks.

Вступ. В межах Карпатського регіону, у Передкарпатському та Закарпатському прогинах, на ділянках поширення соленосних відкладів з давніх-давен люди видобували соляну ропу із зони соляного дзеркала, з якої виварювали сіль. Саме тому Передкарпатський прогин у північно-східній частині має історичну назви «Галичина» – Земля Солі та солянокупольні структури Закарпатського прогину – «соляне місце» – Солотвино, за археологічними даними були місцями видобутку соляних розчинів, а також виварювання із них харчової солі із часів бронзового віку. Вилучення соляної ропи із самовитічних джерел, практично не впливало на розвиток техногенно-активізованого карсту, а просідання та провалля мали виключно природні причини: навіть якби люди не вилучали цей ресурс для своїх потреб, соляний карст і далі б природно розвивався.

Пізніше, видобування ропи із соляного дзеркала за допомогою колодязів, шурфів, «шибів», вже активізувало техногенний карст, особливо за умови надмірного вилучення, притоку прісних вод, зниження мінералізації, що призводило до припинення функціонування багатьох солеварень саме через закарстованість масиву, самоізоляцію солей нерозчинним осадом та зменшення запасів кондиційної сировини, насамперед у зоні живлення гідрогеологічної системи. Але за умови вилучення з надр вже досить насичених роп у зоні транзиту чи поблизу зони розвантаження, без надходження прісних вод, гірничі виробки з вилучення соляної ропи, можуть функціонувати сотні років і яскравим прикладом є Королівський шурф Дрогобицької солеварні, що безперервно вилучає сировину з 1473 року, тобто понад 550 років. Хоча і навколо Дрогобицької солеварні – єдиного нині діючого солевиварювального підприємства, що працює за середньовічною технологією, спостерігаються наслідки активізації соляного карсту.

Особливо підвищеним ризиком активізації соляного карсту, може супроводжуватися видобування ропи із зони соляного дзеркала свердловинами, на ділянках у зонах їх впливу на житлові будинки та гірничі об’єкти. Такі проблеми можуть гостро стояти у Солотвино, Стебнику, Дрогобичі, Трускавці та багатьох інших локаціях. Саме тому при надзвичайно актуальним є врахування ризиків активізації карсту для житлової забудови та гірничих об'єктів при геолого-економічній оцінці потенційних родовищ ропи із зони соляного дзеркала Карпатського регіону.

Виклад основного матеріалу. Перші осередки виварювання солі, ймовірно були поблизу природних соляних джерел. Про це свідчать численні археологічні дані, що найдавніші осередки солевидобування й солевиварювання в Карпатському регіоні тяжіли безпосередньо до природних виходів соляної ропи, у районах Лоєвої (III тис. до н. е., найдавніший солеварний центр зі знайденою керамікою, пов'язаною з трипільською культурою), Космач, в урочищі Тимчуччина, присілку Медвежий (пізня бронзова доба, до IX ст. до н. е.), Княждвір, присілок Баня, біля Коломиї (бронзова доба) у Передкарпатському прогині та городище Читаття у Солотвино (бронзова–залізна доба) і Олександрівка (знахідка панви) в межах Закарпатського прогину.

Природні виходи ропи на денну поверхню чи їх неглибокі каптажі, облаштовувались як місця збирання та черпання сировини, із поруч розташованими локаціями відстоювання та випарювання на відкритому вогнищі у спеціальних керамічних посудинах. Тобто перші осередки не випадково розташовувалися біля соляних джерел. У найдавніший період не було необхідності додаткова проходити достатньо глибокі гірничі виробки: природна ропа вже виходила на поверхню, лише для зручності облаштувавши каптаж. Слід зазначити, що таке видобування практично не впливало на активізацію соляного карсту.

Коли поверхневі джерела ставали недостатньо продуктивними чи з’явлось багато охочих займатися такого роду надрокористуванням, їх почали поглиблювати,

споруджувати колодязі та інші гірничі виробки. Пізніше, в античні та середньовічні часи, видобування ропи зосереджувалось переважно навколо облаштованих гірничих виробок, пройдених до рівня соляного дзеркала (Пістинь, Ланчин, Делятин, Долина, Калуш, Дрогобич, Нагуєвичі, Стара Сіль, Добромиль та ін.). Для цього, коли при копанні криниць для відбору прісних вод, натрапляли на соляну ропу, облаштовували гірничі виробки (колодязі, шурфи, «шиби»), зачерпували та піднімали з них ропу, на спеціально облаштованих печах організовано виварювали сіль. На таких підприємствах видобуту ропу, нагрівали в металевих посудинах на вогні, й збирали сіль, що виступала на краях і їх в межах Галичини було десятки у таких населених пунктах як Старуня, Уторопи, Пістинь, Печеніжин, Березів, Маркова, Росільна, Солець та інші, а у більш крупних містечках будувались жупи, солеварні, саліни: Косів, Ланчин, Делятин, Долина, Болехів, Дрогобич, Стебник, Добромиль та інші [1].

Технологія видобування ропи та отримання солі була досить проста та використовувалась на десятках, якщо не сотнях солеварень Галичини: 1) копання криниці до рівня соляного дзеркала та її облаштування. 2) видобуток ропи; 3) відстоювання ропи від завислих глинистих частинок; 4) виварювання солі; 5) формування топок солі та їх продаж. В Галичині ще до другої половини XX століття працювало кілька десятків солевиварювальних заводів («салін», «жуп»), які за останні 30-40 років перестали функціонувати з різних причин.

Єдиний функціонуючий солевиварювальний завод (солеварня), який працює за середньовічною технологією починаючи із XIII століття, завдяки зусиллям колективу, зберігся та випускає високоякісну виварювальну харчову сіль, працює у Дрогобичі. Тут за умови вилучення з надр вже досить насиченої ропи у зоні транзиту чи поблизу зони розвантаження, без надходження прісних вод, основна гірнича виробка з вилучення соляної ропи – Королівський шурф Дрогобицької солеварні, що безперервно вилучає сировину з 1473 року, тобто понад 550 років, настільки тривали час функціонує завдяки тому, що у місці відбору не відбувається суттєвого вилуговування солей. Королівський шурф Дрогобицької солеварні є дуже показовим природно-техногенним аналогом природних соляних джерел, але його історія насправді показує не відсутність карстового ризику, а те, що за певного режиму відбору ропи гідрогеологічна система може дуже довго перебувати у стані відносно стійкої рівноваги. Саме така гідрогеологічна система, може бути прикладом для обгрунтування об'ємів видобутку при геолого-економічній оцінці потенційних родовищ соляної ропи, а перевищення ліміту – безумовна передумова активізації карсту, що має бути прописано в особливих ліцензійних умовах.

Особливо небезпечними можуть бути не тільки видобувні роботи, але просте розвідувальне буріння свердловин, за умови, що така локація знаходиться в контурі розроблюваного соляного родовища та просторово накладається на гірничі виробки соляної копальні. За таких умов існує загроза прориву води в гірничі виробки, що супроводжується розвитком соляного карсту, утворенням величезних за розмірами провалів, загрозою раптового затоплення рудника, збитків для інфраструктури і навіть до загроз життю і здоров'ю громадян. Про потенційну небезпеку такого сценарію розвитку подій, свідчить катастрофічний розвитку соляного карсту при несанкціонованому бурінні в межах соляної копальні події, що мало місце на соляній шахті Diamond Crystal Salt Company у штаті Лузїзіана (США).

Тут компанія Texaco / Wilson Brothers, проводила бурові роботи для пошуків нафти і газу на березі озер Палмер, але помилилась у закладці устя свердловини, облаштувавши її над гірничими виробками шахти. Причиною цієї фатальної помилка були хиби в розрахунках координат, через що бур пробив третій горизонт соляної шахти на глибині близько (400) метрів. У день коли сталося 20 листопада 1980 року, протягом кількох годин прісна вода з озера розчинила сіль і розширила провал, через що озеро почало стікати в шахту. Як наслідок прісна вода з озера почала швидко розчиняти соляні породи, розширивши отвір. Утворився потужний водяний вир, що затягнув саму бурову вишку,

11 барж, до повного затоплення копальні. І хоча жертв вдалося уникнути — усі 55 шахтарів під землею та команда буровиків встигли успішно евакуюватися завдяки завчасному попередженню. У 1983 році Texaco та буровий підрядник Wilson Brothers заплатили Diamond Crystal за нанесені збитки та ненавмисне затоплення шахти 32 мільйони доларів США (еквівалентно 103 мільйонам у 2025 році).

Згідно діючого законодавства та нормативних документів при будь-якій діяльності, пов'язаній з користуванням надрами в межах гірничого відводу, може провадитися тільки за згодою користувача надр (інвестора), якому він наданий (пункт 3, Положення про порядок надання гірничих відводів https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/59-95-п#n9), а тим більше проводити пошукові, дослідно-відпомповувальні та експлуатаційні роботи, бо це в межах соляних копалень, реально загрожує їх існуванню [3].

Особливо це стосується випадків, коли соленосні поклади поширені на глибини понад 1000 м, деформовані процесами соляного діапіризму, тектонічно порушені, на окремих ділянка брекчійовані, з елювіальними відкладами змінної потужності, аж до їх повної відсутності, залягають на глибинах 25-200 м, із дуже складними гідрогеологічними умовами постійного ризику зустріти водопритоки різної природи, у тому числі із зони активного водообміну, із обводненим контактом соляного дзеркала та покривних порід. За таких умов, агресивні до солей води атмосферних опадів, підземні води четвертинних відкладів, а іноді і річкові чи озерні води, в техногенно-непорушених умовах інфільтруються до соленосних відкладів у напрямку близькому до вертикального [4].

В процесі такого нисхідного руху, в результаті вилуговування солей у їхній покрівлі збільшення мінералізація, досягаючи максимальних значень на соляному дзеркалі. По досягненні соляного дзеркала, яке є абсолютним водотривом, вертикальний рух зупиняється, води стають застійними, а їх рух в горизонтальному напрямку затруднений наявністю слабо проникних ділянок, а розвантаження може з'явитися тільки в умовах наявності нижчезалягаючого базису дренажу, коли насичені ропи розвантажуються у вигляді природних джерел чи видобуваються гірничими виробками, подібними до Королівського шурфа Дрогобицької солеварні глибиною 47,7 м, де зона живлення гідрогеологічної системи, просторово віддалена від зони розвантаження, що може функціонувати як постійний водозабір ропи протягом понад 500 років.

Особливо важливим є гідравлічний зв'язок між експлуатаційним горизонтом «соляного дзеркала» і надсольовими водами та підтримка гідрогеохімічної рівноваги. Якщо свердловина забирає природні ропи із уже існуючої карстової гідрогеологічної системи, у якій є віддалена зона живлення із обмеженим притоком агресивних вод, протяжна зони транзиту, протікаючи по якій у напірному чи безнапірному режимі, розчин встигає донасититись та зона розвантаження із насиченою ропою – повний аналог природного соляного джерела.

Радикально відмінний механізм формування соляної ропи має місце тоді, коли у гідрогеологічній системі зони живлення та розвантаження просторово-зближені, наявне потужне джерело агресивних вод (річка, озеро, водносний горизонт прісних вод, що безперешкодно може розвантажуватися у соленосні відклади. При цьому видобуті ропи, далекі від насичення, характеризуються мінливим хімічним складом, залежним від кількості атмосферних опадів, рівнів води в озерах та річках, рівнів водоносного горизонту у зоні активного водообміну. Це ідеальні умови для розвитку соляного карсту при виявлені перспективних родовищ ропи.

Ключовим механізмом розвитку техногенно-активізованого карсту у таких умовах є відкачування ропи експлуатаційною свердловиною, що призводить до змін гідравлічних напорів у гідрогеологічній системі, викликає приплив менш мінералізованої води і як наслідок додаткове розчинення солевмісних порід на найбільш вразливих ділянках, збільшення на них розмірів порожнин та карстових каналів, аж до втрати над ними стійкості (при досягненні критичного розміру – біля 50 м), деформації поверхні аж до провалювання

покрівлі, у несприятливих умовах. Подібний самопідтримуваний цикл розчинення соленосних відкладів добре описаний для глибин від 10 до 250 м.

У природних умовах соляне дзеркало часто перебуває у відносній гідрогеологічній рівновазі: соленосні породи насичують у зоні «соляного дзеркала» води карстового водоносного горизонту у зоні сповільненого водообміну із дуже малою швидкістю руху. Але коли пробурити на цей горизонт водозабірні свердловини і активно відкачувати ропу, наслідком чого може стати зниження рівня ропи, утворення депресійної лійки, збільшення швидкості руху та градієнту фільтрації, зростання надходження прісніщої, менш мінералізованої води, то активується найбільш небезпечний механізм розвитку соляного карсту при видобуванні ропи на перспективних родовищах: агресивна вода розчиняє галіт та інші соляні мінерали, збільшує об'єм карстових порожнин та розміри карстових каналів. Саме видобування недостатньо ненасиченої ропи щодо хлористого натрію, її притоку та неможливості досягнення концентрації насиченої ропи, є основним чинником активізації карсту.

За таких умов надрокористувачам, доцільно оперувати такими категоріями доцільності продовження видобувних робіт як «оцінка карстологічного ризику», оскільки відкачування вже сформованої ропи, при її вилучення з надр активізує утворення нових об'ємів ропи та її відмінності за хімічним складом від попередніх порцій.

Найбільше карстологічний ризик залежно від глибини покрівлі у чотирьох виділених інтервалах. При глибині покрівлі соленосних порід 25-50 м ризик активізації карсту дуже високий, оскільки мала потужність неводорозчинних порід, сприяє швидшому зв'язку із поверхневими/ґрунтовими водами. При заляганні крівлі солей на глибині 50–100 м ризик так само високий, але значно менший ніж у попередньому випадку. При глибині покрівлі соленосних відкладів 100-150 м, ризик від високого до помірного, і соляний карст може розвиватися лише за несприятливих умов у гідроізолюючій товщі – поширення у ній тріщин або розломів. А для глибин крівлі солей 150–200 м – ризик активізації карсту відносно нижчий, але не нульовий, оскільки більша потужність водотриву, однак можливе вертикальне поширення за несприятливих умов, і реальний ризик може бути вищим, якщо над соленосною товщею залягають тріщинуваті породи, локалізовані розломи або наявна високопроникна зона іншої природи.

Експлуатація водозабірних свердловин для відбору соляної ропи, радикально зміню інженерно-геологічні умови, оскільки соленосні товщі зазнають техногенної зміни гідрогеологічних умов, що може призводити до активізації соляного карсту. Зокрема, тривале відпомповування може змінювати гідродинамічний режим.

У цьому зв'язку актуальним питанням на якій відстані допускається розміщення експлуатаційних свердловин для видобування насичених роп із зони «соляного дзеркала» від житлових будівель, гірничих об'єктів або інших відповідальних споруд.

Аналіз літературних даних та нормативної літератури показує, що житлові будівлі, гірничі об'єкта або інші відповідальні споруди, що розташовані навідстані менше ніж 100 м знаходяться у зоні дуже високого ризику карстопровальних процесів. Так само неприйнятним є їх розташування 100-200 м і для їх влаштування потрібне спеціальне обґрунтування, що базуєтьс на обстежені території, даних геодезичного та гідрогеологічного моніторингу.

Для відстані 200-300 м, необхідна оцінка карстової небезпеки.

Лише коли відстань від житлових будівель, гірничих об'єктів або інших відповідальних споруд буде 300-500 м, її можна розглядати як попередню мінімальну відстань.

І лише коли відстань буде більше 500 м можна говорити про відсутність карстологічного ризику.

Слід зазначити, що ці відстані не є «нормативними» у відповілдності до вимог ДБН В.1.1-24:2009 «Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі», де лише вимагається визначати розміри територій, «…в межах яких

здійснюються заходи інженерного захисту, що підпадають під дію небезпечних геологічних процесів, встановлюються за матеріалами рекогносцирувальних обстежень і уточнюються при подальших Інженерних дослідженнях» (п.1.16) [2].

Висновки. На підставі проведених досліджень, можна зробити наступні висновки щодо ризиків активізації карсту для житлової забудови і гірничих об'єктів при геолого-економічній оцінці потенційних родовищ ропи із зони соляного дзеркала Карпатського регіону:

1. Ризики повільної у історичному вимірі часу активізації природного соляного карсту – можливий при розвантаженні природних соляних джерел чи експлуатації гірничих виробок, що дозволяють вилучати з карстової гідрогеологічної системи самотічні насичені ропи із віддаленою зоною живлення та найбільш протяжною зоною транзиту, таких як Королівський шурф Дрогобицької солеварні глибиною 47,7 м, що експлуатується понад 550 років із мінімальними проявами карстових деформацій: при геолого-економічній оцінці карстологічна небезпека таких потенційних родовищ, слід оцінювати як мінімальну, а їх віднесення до цієї групи за карстологічним ризиком, не визначається глибиною рівня «соляного дзеркала», а виключно значною тривалістю безпечної експлуатації, що супроводжується постійним моніторингом гідрогеологічних умов, хімічного складу ропи та просідання поверхні.
2. Ризики довготривалого проявлення техногенно-активізованого карсту внаслідок видобування ропи із зони «соляного дзеркала» на значній глибині – 150-200 м, на віддалі понад 500 м від житлових будівель, гірничих об’єктів або інших відповідальних споруд, де самотічні насичені ропи із віддаленою зоною живлення та протяжною зоною транзиту, мають мінімальну схильність до зниження мінералізації, із мінімальними проявами карстових деформацій: при геолого-економічній оцінці карстологічні ризики таких потенційних родовищ, слід оцінювати як прийнятні..
3. Ризики середньотривалого проявлення техногенно-активізованого карсту внаслідок видобування ропи із зони «соляного дзеркала» на глибині – 100-150 м, на віддалі понад 300-500 м від житлових будівель, гірничих об’єктів або інших відповідальних споруд, де самотічні насичені чи близькі до насичення ропи із менш віддаленою зоною живлення та менш протяжною зоною транзиту, мають певну схильність до зниження мінералізації, із певними проявами карстових деформацій: при геолого-економічній оцінці карстологічні ризики таких потенційних родовищ, слід оцінювати як допустимі.
4. Ризики короткотривалого проявлення техногенно-активізованого карсту внаслідок видобування ропи із зони «соляного дзеркала» на глибині – 50-100 м, на віддалі 200- 300 м від житлових будівель, гірничих об’єктів або інших відповідальних споруд, де самотічні мінералізовані розчини із близькою зоною живлення та короткою зоною транзиту, мають підвищену схильність до зниження мінералізації та спостережуваного вичерпання кондиційних запасів, із значимими проявами карстових деформацій: при геолого-економічній оцінці карстологічні ризики таких потенційних родовищ, слід оцінювати як не допустимі.
5. Ризики швидкого проявлення техногенно-активізованого карсту внаслідок видобування ропи із зони «соляного дзеркала» на глибині – менше 50 м, на віддалі до 200 м від житлових будівель, гірничих об’єктів або інших відповідальних споруд, де самотічні мінералізовані розчини із дуже близькою зоною живлення та вельми короткою зоною транзиту, мають високу схильність до зниження мінералізації та швидкого вичерпання запасів, із яскравими проявами карстових деформацій: при геолого-економічній оцінці карстологічні ризики таких потенційних родовищ, слід оцінювати як катастрофічні.
6. Категорично не припускається видобування ропи із зони «соляного дзеркала» в межах гірничого відводу гірничо-видобувних підприємств, що розробляють соляні родовища у відповідності із чинними нормативними вимогами та при геолого-економічній

оцінці карстологічні ризики таких потенційних родовищ ропи, слід оцінювати як неприпустимі, що загрожують катастрофічними наслідками.

7. Карстологічні ризики є головними обмежуючими чинниками при видобуванні ропи із зони «соляного дзеркала» потенційних родовищ ропи Карпатського регіону.

Список використаних джерел:

1. Дяків В. Сучасна соляна криза в Україні та перспективи і проблеми відновлення видобутку і виробництва кам'яної, технічної, харчової солі / В. Дяків, З. Хевпа // Вісник Львівського університету. Серія геологічна. 2024. Вип. 38. С. 82–93. DOI https://doi.org/10.30970/vgl.38.07 Режим доступу в мережі Internet: https://journals.lnu.lviv.ua/index.php/geology/article/view/400/375

2. ДБН В.1.1-24:2009 Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Захист від небезпечних геологічних процесів. Основні положення проектування // К., Міністерство регіонального розвитку та будівництва України. - 2010 – 108 с. Режим доступу в мережі Internet: https://buduemo.com/uploads/admin/DBNV11242009_c.pdf

3. Андреїчев А.Н. Гідрогеологічні та гірничотехнічні умови і методи розкриття калійних родовищ. - Пр. ВНДІГ, 1973, вип. 65, с. 3-86.

4. Семчук Я.М., Малишевська О.С. Дослідження процесів розчинення та вилуговування соляних порід для оцінки наслідків затоплення калійних шахт. Хімічна промисловість України. 2002. № 1. С. 9-12.

УДК 553.98

МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ПАЛЕОТЕКТОНІЧНОГО АНАЛІЗУ ЛОКАЛЬНИХ СТРУКТУР

***Харченко М.В.**, к. геол.-мін. н, ukraineuser@gmail.com;*
Державна комісія України по запасах корисних копалин, м. Київ, Україна

Серед методів дослідження нафтогазоперспективних товщ певне місце займає палеотектонічний аналіз. Його проведення дозволяє, з одного боку, уточнити історію геологічного розвитку певних ділянок, а з іншого сприяє встановленню залежності історії розвитку локальних структур та їх нафтогазоносності. Важливим є питання визначення оптимальної методики кількісної оцінки палеотектонічного розвитку локальних структур.

METHODOLOGICAL PRINCIPLES OF PALEOTECTONIC ANALYSIS OF LOCAL STRUCTURES

***Kharchenko M.,** Cand. Sci. (Geol.-Mineral.), ukraineuser@gmail.com;*
State Commission of Ukraine on Mineral Resources, Kyiv, Ukraine

Among the methods of studying oil and gas prospective strata, paleotectonic analysis occupies a certain place. Its implementation allows, on the one hand, to clarify the history of geological development of certain areas, and on the other hand, helps to establish the dependence of the history of development of local structures and their oil and gas content. The issue of determining the optimal methodology for quantitative assessment of paleotectonic development of local structures is important.

Серед методів дослідження нафтогазоперспективних товщ певне місце займає палеотектонічний аналіз. Його проведення дозволяє, з одного боку, уточнити історію геологічного розвитку певних ділянок, а з іншого сприяє встановленню залежності історії розвитку локальних структур та їх нафтогазоносності. Важливим є питання визначення оптимальної методики кількісної оцінки палеотектонічного розвитку локальних структур. Безумовно, що ступінь контрастності локального підняття на регіональному фоні може впливати на його нафтогазоперспективність. Результати палеотектонічного аналізу повинні бути максимально достовірними і інформативними.

Ще на початкових стадіях вивчення Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ), основного нафтогазоносного регіону України, відзначався зв'язок нафтогазоносності з конседиментаційним розвитком локальних структур [1].

Палеотектонічний аналіз локальних структур базується на аналізі товщин відкладів на крилі та у склепінні підняття. Зменшення товщини відкладів у склепіння вказує на меншу швидкість осадконакопичення, що є відображенням конседиментаційного росту підняття. Важливим є не тільки виявити конседиментаційний рост підняття, а й кількісно його оцінити. Це дасть можливість порівнювати різні нафтогазоперспективні об'єкти, що є важливим при виборі першочергових об'єктів для проведення геологорозвідувальних робіт (ГРР).

Достовірні результати можно отримати тілька за умови відсутності впливу різноманітних постседиментаційних процесів. Найсуттєвішим інколи вважається можливе диференційоване ущільнення глинистих порід у порівнянні з пісковиками. За таких умов суттєва латеральна літологічна мінливість може впливати на результат палеотектонічного аналізу. Глинисті породи мабуть дійсно ущільнюються більшим ступенем у порівнянні з пісковиками, проте це не буде суттєво впливати на результат. Основне зменшення товщин глинистих порід спостерігається лише в приповерхневих умовах і швидко компенсується привносом нового матеріалу. При подальшому зануренні ступінь ущільнення глин і пісковиків є співмірною, що свого часу було доведено, зокрема, на численних матеріалах Передкавказзя [2]. Також прямими спостереженнями на керновому матеріалі Яблунівського родовища ДДЗ встановлено, що ступінь ущільнення пісковиків (тобто величина скорочення товщини) складає від 1,44 до 1,6 [3]. Таким чином можна вважати,

що значна літологічна мінливість суттєво не впливає на достовірність результатів палеотектонічного аналізу,

Розглянемо методичні засади кількісною оцінки палеотектонічного аналізу локальних структур. Є два принципово різних підхода для кількісної оцінки : в першому випадку аналізується тільки різниця товщин стратиграфічних підрозділів в склепінні та на крилі структури (метод товщин, “м”). В другому випадку враховується також і відстань між точками заміру, що свідчить про кутові дислокації локального підняття (кутовий метод,“к”).

Практичний досвід застосування цих методик свідчить що більш надійними і ефективними є використання “кутових” методів. Аналіз на основі “товщинних” методів вимагає в якості обов'язкової умови розташування свердловин для аналізу строго в склепінні та на замиканні крила, що буває рідко в практиці (ГРР). До того ж інколи неможливо достовірно встановити по якій ізопахіті оконтурюється палеопідняття. Особливо це стосується непродуктивних структур, де кількість свердловин зазвичай незначна.

Цього недоліка можно повністю уникнути при аналізі кутових деформацій палеоструктур. Більш того, при застосуванні “кутових” методів можно використовувати також свердловини, пробурені поза межами палеопідняття у випадку коли нахил крила палеопідняття співпадає з регіональним (загальним) зануренням. Це положення наочно можно проілюструвати на прикладі Скороходівського палеосклепіння Талаліївської площі ДДЗ (рис. 1). Хоча свердловина 17 розташована поза межами палеоструктури нахил зберігається, позаяк свердловина розташована в напрямку занурення в сторону Дмитрівського прогину. Користуючись “кутовим” методом для вивчення даного палеосклепіння ми отримуємо однакову кількісну характеристику незалежно від того, яку свердловину (17 обо 6) використовуємо для аналізу.

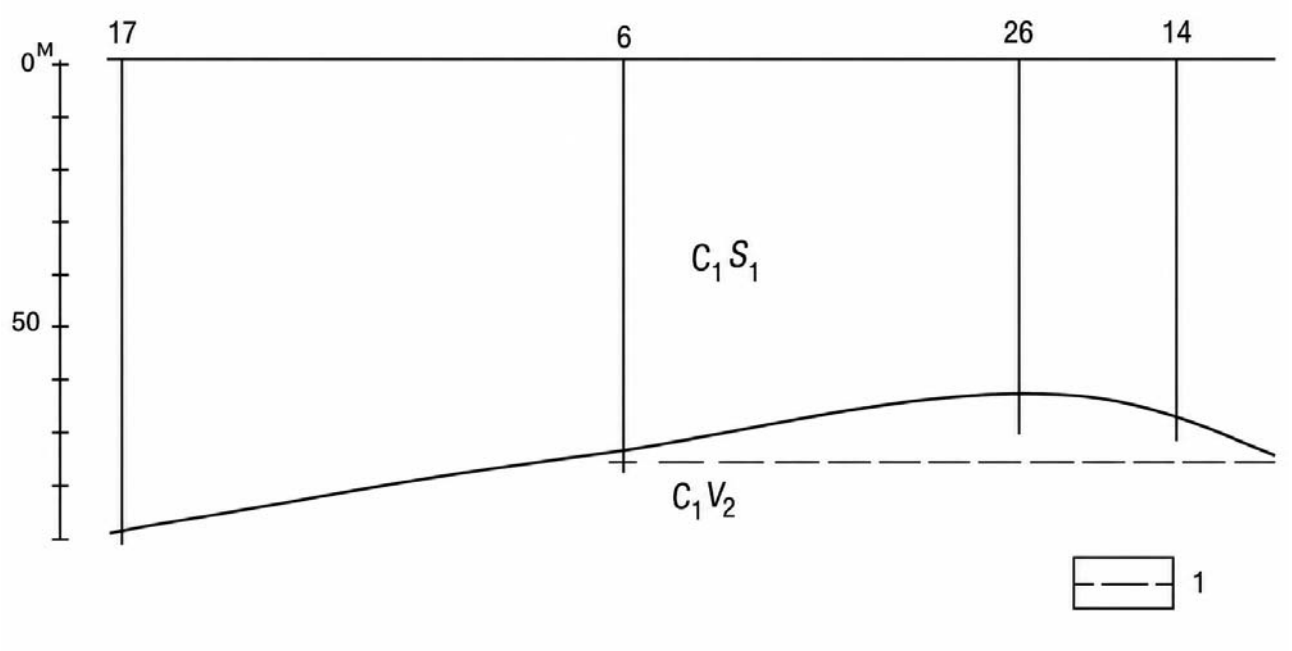


Рис. 1. Схематичний палеопрофіль нижньосерпухівських відкладів Скороходівського склепіння: 1 - проекція контуру структури на лінію профіля

Крім того, аналіз що заснований тільки на різниці товщин лишає нас можливості оцінити контрастність даної палеоструктури на регіональному фоні. Безумовно, що розподіл літофацій значною мірою контролюється не абсолютним перевищенням в рельєфі, а значеннями його уклона. Невідповідність в оцінці інтенсивності конседиментаційного розвитку структур наведено на рис. 2. Дві структури з різними особливостями розвитку

“товщинними” методами характеризуються як ідентичні, а “кутовими” чітко розмежовуються за особливостями свого формування

Вельми важливим є і те, що “кутові” методи, на відміну від “товщинних”, дозволяють отримувати достовірні дані і при порівнянні структур розташованих в різних частях регіону при різному регіональному фоні тощин накопичувальних відкладів.

Зазначивши перевагу “кутових” методів кількісної оцінки конседиментаційного росту локальних структур, разглянемо методику, за допомогою якої можно проводити даний аналіз. З цією метою використовується безрозмірний коефіцієнт **К** (коефіцієнт конседиментаційності) : $\mathbf{K} = \frac{\Delta h}{l}$ де $\Delta \mathbf{h}$ різниця товщин відкладів на крилі і в склепіння палеоструктури, l - відстань між свердловинами для аналізу.

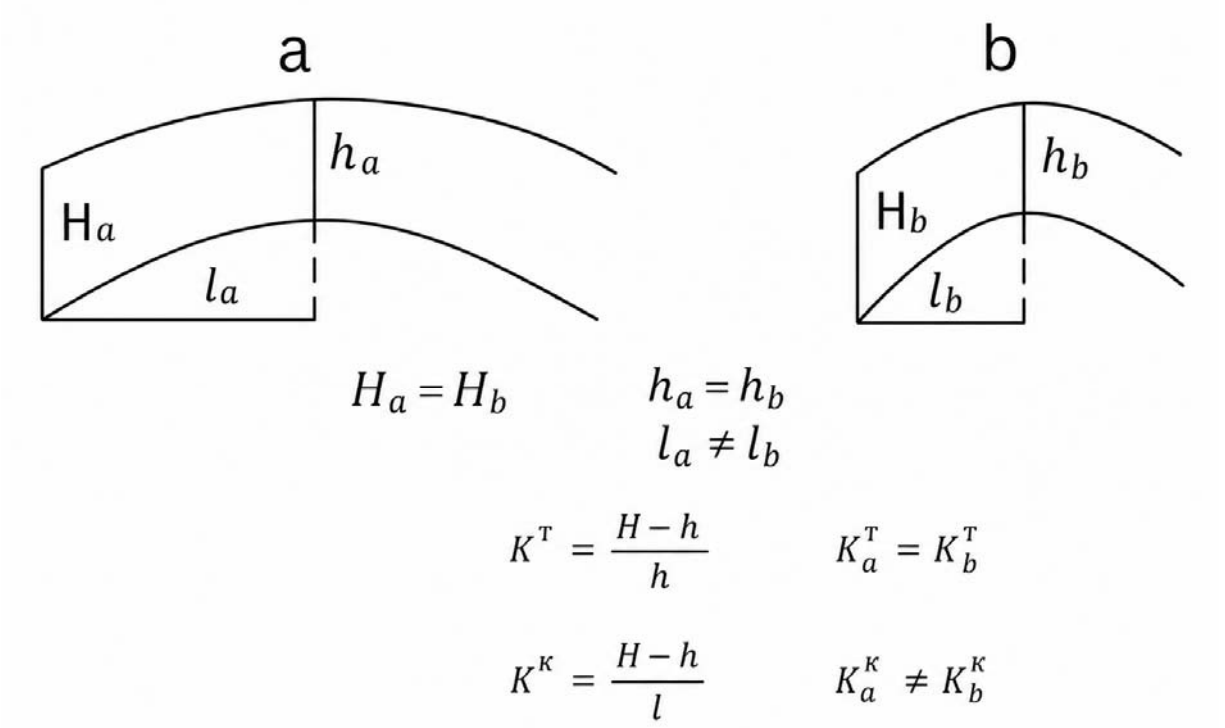


Рис. 2. Модель підрахунку коефіцієнта конседиментаційності локальних структур “товщинним” ($К^т$) та “кутовим” ($К^к$) методами

Деякі фактори можуть негативно впливати на точність аналізу і тому необхідно застосовувати окремі поправки. При невисокому ступені розбуреності структур присклепенева свердловина (з мінімальними значеннями товщини) і свердловина з максимальними значеннями можуть бути розташовані на протилежних крилах палеоструктури. Для уникнення спотворення результатів (внаслідок фактичного збільшення відстані між свердловинами) доцільно спроектувати присклепеневу свердловину на протилежне крило палеосклепіння. У випадку, коли лінія свердловин, яка використовується для аналізу, не перпендикулярна ізопахітам, необхідно вводити відповідну поправку на кут відхилення від перпендикуляру.

Регіональний фон товщин може не тільки впливати на точність палеотектонічного аналізу, а й взагалі ускладнити вирішення питання чи є дана палеоструктура замкнута чи ні? Це відбувається в тому разі, якщо регіональний градієнт товщин є співмірним з локальним градієнтом, обумовленим конседиментаційним ростом палеопідняття. Так, наприклад, на північному зануренні Срібнянської депресії ДДЗ регіональний градієнт товщин верхнєсерпухівських відкладів на ділянці Артюховсько-Лакизинської площі дорівнює 9,6 м/км, що перевищує градієнт товщин, який характеризує локальні структуроформуючі процеси на окремих палеопідняттях (Софіївське, Великобубнівське та

ін.). З цього випливає, що при аналізі конседиментаційного росту структур повинні враховуватися не тільки локальні, а й регіональні фактори.

Вплив регіонального фону товщин на кількісні показники можно уникнути, якщо лінію аналізованих свердловин розташувати паралельно ізопахітам. В практиці ГРР це не завжди можливо і тому необхідно враховувати регіональні зміни товщин. В ДДЗ це обумовлено зростанням інтенсивності прогинання в напрямку до осьової частини западини та з північного-заходу на південний схід. Якщо використовується свердловина, яка розташована на крилі палеоструктури з напрямком в сторону зменшення регіональних товщин – то значення регіонального градієнта додаються до отриманого результату коефіцієнта конседиментаційності. У випадку розташування досліджуваної свердловини на протилежному крилі (в напрямку занурення) з розрахованого коефіцієнта конседиментаційності необхідно відняти значення регіонального градієнта товщин.

Як і кожен метод дослідження проведення палеотектонічного аналізу локальних структур має певні обмеження, недооцінка яких може призвести до суттєвих помилок. Зокрема на формування палеорельєфу можуть впливати не тільки тектонічні процеси, а й ерозійні процеси. Виключення з аналізу відкладів з ерозійними формами суттєво звужує можливості палеотектонічного аналізу і призводить до свідомого викривлення висновків, позаяк ділянки з найбільш складною історією розвитку і які мають значний практичний інтерес з точки зору нафтогазоносності залишаються невивченими.

Можно виділити два основних вида ерозійного рельєфу : площинний розмив на водорозділах, що приурочений до локальних позитивних палеструктур, та ерозійні врізи, утворені в результаті діяльності річкових потоків у заглибленнях палерельєфу.

В результаті різного роду структуроформуючих процесів склепіння палеопідняття може бути припіднятим вище поверхні осадконакопичення (рис. 3b). Внаслідок цього або тільки зупиниться седиментація або відбуватиметься і частковий розмив раніше накопичених відкладів. В подальшому при від'ємних тектонічних рухах в першому випадку процеси седиментації будуть відсутні до занурення палеосклепіння нижче рівня умовної поверхні осадконакопичення (рис. 3c). У випадку часткового розмиву седиментація відновиться відразу ж після початку прогинання (рис. 3d). Товщина відкладів, що утворилися при зануренні буде більше у випадку процесів ерозії, ніж тільки перерви в осадконакопиченні. Позаяк різниця товщин компенсує розмив і дорівнює глибині ерозії, то в цілому за весь часовий інтервал, що розглядається, товщина в палеосклепінні в обох випадках буде ідентична. Тобто ерозійний рельєф в подібних умовах не впливає на результати палеотектонічного аналізу.

Інколи під час регресії ерозія зачіпає не тільки присклепеневі частини палеоструктури, а й його крила і таким чином товщина досліджуваного стратиграфічного інтервалу буде зменшеною в межах всієї площі. Проте і в цьому випадку **різниця товщин** в склепінні локального палеопідняття і на його крилі (обумовлена конседиментаційним ростом палеоструктури) під час розмиву (рис 4.c) залишиться такою самою як і за відсутності денудації (рис. 4.d) Відмінність від попереднього прикладу лише в тому, що глибина ерозії перевищує конседиментаційний рост палеосклепіння на величину “z”, яка дорівнює товщині розмитих відкладів. Це наочно свідчить також про переваги “кутових методів” кількісної оцінки конседиментаційного розвитку у порівнянні з іншими методами аналізу. Значення, отримані “кутовими” методами залежать тільки від різниці товщини в склепінні і на крилі палеопідняття. При аналізі “товщинними” методами враховуються ще і абсолютні значення товщин. Зменшення останніх внаслідок розмиву призведе до викривлення отриманих результатів.

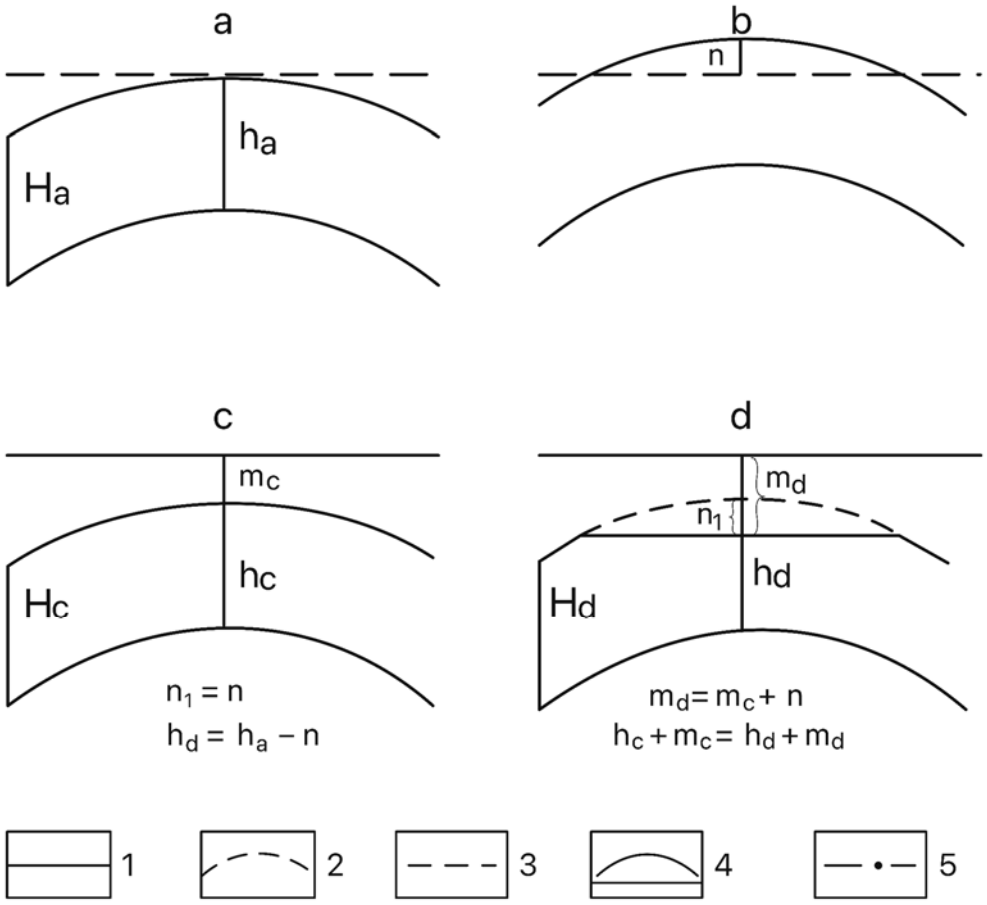


Рис. 3. Модель впливу ерозії з розмивом склепіння палеоструктури на товщину відкладів: 1 – положення верхнього реперу, який використовується для аналізу; 2 – границя розмитої частини палеосклепіння; 3 – рівень поверхні осадконакопичення; 4 – границі стратиграфічних підрозділів; 5 – лінія перевищення крил палеоструктури над рівнем поверхні осадконакопичення

При інтенсивних ерозійних процесах розмив може зачепити і подошву відкладів, які аналізуються. В такому випадку для відновлення історії розвитку структури на початку потрібно визначити глибину розмиву а потім на це значення збільшити значення товщини на крилі палеосклепіння і отриманий результат використовувати в подальших розрахунках.

Важливим є питання щодо ролі ерозійних врізів алювіальних потоків. Якщо розмив є внутрі досліджуваного інтервалу - це не впливає на розрахунки. Формування ерозійного рельєфу співпадає з початковою стадією седиментаційного циклу і в подальшому відклади заповнюють від'ємні форми рельєфу, що призводить до його нівелювання. Враховуючи, що розмив відкладів повністю компенсується подальшим осадконакопиченням, можно стверджувати про відсутність впливу ерозійних процесів на результати палеотектонічного аналізу. При цьому не має значення відбувалась седиментація в умовах загального рівномірного прогинання або при формуванні окремих локальних піднять. В любому випадку товщина відкладів буде функцією тектонічних рухів.

У випадку співпадіння ерозійного рельєфу з підошвою досліджуваних відкладів результати аналізу товщин можуть бути невірними. Значення погрішності будуть зростати із зростанням глибини ерозійного врізу, позаяк в цьому випадку не буде дотримуватися одна з головних умов палеотектонічного аналізу, яка вимагає щоб у покрівлі і подошві досліджуваного стратиграфічного інтервалу залягали пласти, сформовані в умовах максимально наближених до горизонтальних.

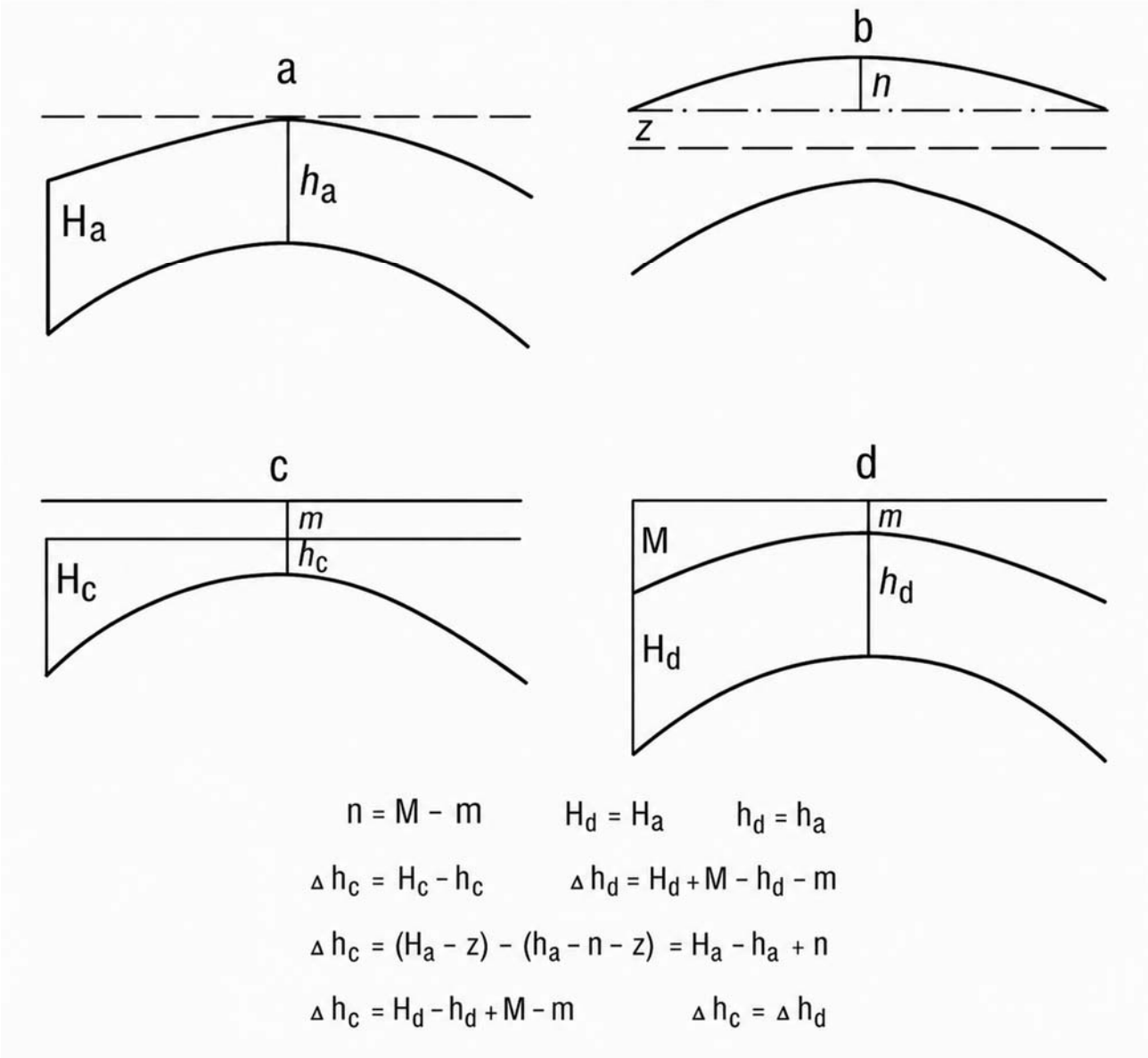


Рис. 4. Модель впливу ерозії з розмивом в межах всієї палеоструктури на товщину відкладів. Умовні позначення на рис. 3

Необхідно зазначити, що викладені методичні засади можна використовувати як самостійно безпосередньо в аналізі локальних структур так і імплементовані в різноманітні моделювання.

Висновки. Палеотектонічний аналіз є важливою складовою оцінки перспектив нафтогазоносності локальних структур. Серед методів кількісної оцінки конседиментаційного росту палеопіднять найбільш ефективним є метод, який базується на аналізі кутових дислокацій локального підняття. Запропонована методика враховує також можливий вплив на результати аналізу ерозійних процесів.

Список використаних джерел:

1. Закономерности размещения месторождений нефти и газа Днепровско-Донецкой нефтегазоносной провинции. Доленко Г.Н., Варичев С.А., Галабуда Н.И. и др. Киев: Наукова думка, 1968. - 216с.

2. Нейман В.В. Теория и методика палеотектонического анализа. - М.: Недра, 1984. - 80с.

3. Харченко М. В., Про визначення ступеня ущільнення пісковиків // Проблеми нафтогазової промисловості: Зб. наук. праць, вип. 1- Київ, 2005.- С.71-74.

УДК 553

УПРАВЛІННЯ РЕСУРСНОЮ БАЗОЮ ЧИ ОБЛІК ЗАПАСІВ: ЯКІ ВИКЛИКИ СТАВИТЬ PRMS ПЕРЕД УКРАЇНСЬКИМ НАДРОКОРИСТУВАННЯМ

Гіць Ю.С., *yulia.gits@ugv.com.ua*
Дудніков М.С.*, к. геол. н., mykola.dudnikov@ugv.com.ua;*
АТ «Укргазвидобування», Київ, Україна

Розглянуто концептуальні засади Системи управління вуглеводневими ресурсами SPE-PRMS та передумови її впровадження і застосування в Україні. Проаналізовано причини поширеного сприйняття PRMS виключно як системи класифікації запасів і показано відмінності між підходами до обліку запасів та управління ресурсною базою. Визначено основні виклики, що супроводжують застосування і впровадження Системи PRMS у практику українського надрокористування. Особливу увагу приділено взаємодоповнюваності Системи PRMS та Рамкової класифікації ресурсів ООН (UNFC), які доцільно розглядати не як альтернативні, а як комплементарні інструменти для вирішення різних завдань управління ресурсною базою.

RESOURCE MANAGEMENT OR RESERVES ACCOUNTING: WHAT CHALLENGES DOES PRMS POSE FOR UKRAINIAN SUBSOIL USERS?

Gits Yu., *yulia.gits@ugv.com.ua;*
Dudnikov M., *Cand. Sci. (Geol.), mykola.dudnikov@ugv.com.ua*
JSC "Ukrgasvydobuvannya", Kyiv, Ukraine

This paper examines the conceptual foundations of the SPE Petroleum Resources Management System (SPE-PRMS) and the prerequisites for its implementation in Ukraine. It analyzes the reasons why PRMS is often perceived solely as a reserves classification system and highlights the differences between approaches to reserves accounting and resource management. The key challenges associated with the implementation of PRMS in Ukrainian subsoil use practice are identified. Special attention is given to the complementary nature of PRMS and the United Nations Framework Classification for Resources (UNFC), which should be viewed not as alternative, but as complementary tools for addressing different resource management objectives.

Вступ. Класифікація ресурсів і запасів корисних копалин України базується на Рамковій класифікації ресурсів ООН (UNFC), яка є універсальною як для покладів вуглеводнів так і інших корисних копалин. Застосування міжнародних класифікацій і підходів до оцінки запасів і ресурсів вуглеводнів в Україні насамперед часто розглядається, як завдання переходу між системами класифікації та встановлення відповідностей їх категорій. Але, в такому випадку, втрачається частина можливостей, які можуть дати міжнародні системи обліку та оцінки запасів для управління ресурсною базою.

Однією із міжнародних класифікацій обліку та оцінки запасів і ресурсів вуглеводнів є Petroleum Resources Management System (PRMS). Її особливістю є те, що запаси і ресурси розглядаються у контексті конкретних проєктів їх освоєння. Тому значення має не лише невизначеність щодо обсягів вуглеводнів, але й те, на якому етапі перебуває проєкт, наскільки він зрілий і що необхідно для його подальшого просування та комерційної реалізації.

Саме тому застосування методології оцінки PRMS в Україні, на думку авторів, не варто зводити лише до пошуку відповідності між категоріями запасів різних класифікацій. Значно важливішим мало б стати використання закладених в Системі PRMS принципів для управління розвитком ресурсної бази, а саме - розвитку проєктів для підвищення їх зрілості, комерційної реалізації і концентрації ресурсів надрокористувача на пріоритетних напрямках.

При цьому застосування Системи PRMS жодним чином не потребує відмови від інших підходів до оцінки та обліку ресурсної бази родовищ. PRMS і РК ООН можуть виконувати різні, але взаємодоповнюючі функції, залежно від завдань оцінки, управління та звітності.

Метою статті є визначення основних викликів впровадження Системи PRMS в Україні та формування підходу до комплексного використання результатів оцінок ресурсної бази родовищ під час портфельного аналізу та прийнятті управлінських рішень.

Концепція системи з управління ресурсами. Широкому поширенню Системи PRMS) у світовій нафтогазовій галузі сприяла потреба галузі в єдиному підході до класифікації та оцінки запасів і ресурсів вуглеводнів. З плином часу трансформація і розвиток Системи PRMS призвели до того, що на даний час вона стала своєрідним містком для нафтогазових компаній, фінансових установ, державних органів та інвесторів.

За інформацією Спілки нафтогазових інженерів (Society of Petroleum Engineers (SPE)), розвиток і впровадження Системи PRMS були спрямовані на створення універсальної системи визначень і критеріїв оцінки ресурсної бази активів, які можуть однаково трактуватися всіма зацікавленими учасниками. Використання уніфікованих визначень запасів, умовних ресурсів та перспективних ресурсів дозволяє зіставляти оцінки різних компаній і проєктів незалежно від регіону чи корпоративних методик. Саме ця особливість стала одним із ключових чинників визнання PRMS міжнародним галузевим стандартом.

Вагомою перевагою Системи PRMS є її підтримка в актуальному стані та адаптація до потреб галузі. Система регулярно оновлюється і переглядається у зв'язку з появою нових типів ресурсів (поклади неконвенційного типу колекторів та нетрадиційних ресурсів - tight gas та shale oil), розвитком технологій (нові розділи в основному документі PRMS, що стосуються петрофізики, резервуарного моделювання, застосування сейсмічних даних під час оцінки ресурсної бази тощо)), зміну бізнес-моделей галузі (застосованість принципів PRMS під час функціонування угод про розподіл продукції, різного роду партнерств, ліцензійних та регуляторних умов тощо) тощо. Підтримка актуальності забезпечується через оновлення основного документа PRMS, публікацію оновлених Рекомендацій щодо застосування Системи управління вуглеводневими ресурсами (в 2022 році було опубліковано Guidelines for Application of the Petroleum Resources Management System), зворотньому зв'язку та відповідей на поширені запитання (FAQ (Frequently Asked Questions)), а також розширення використання принципів PRMS для нових напрямів енергетики – зберігання вуглекислого газу, оцінка вмісту гелію, визначення ресурсу геотермальної енергії та ін.) тощо [2, 14, 15, 16].

Наприклад, підготовка редакції Системи PRMS в 2018 здійснювалася із залученням консалтингових компаній, фінансових організацій, урядових структур та нафтогазових операторів, а також вимагав затвердження 6-ма основними спонсорськими товариствами: Всесвітньої нафтової ради, Американської асоціації нафтових геологів, Товариства інженерів з оцінки нафти, Товариства геофізиків розвідки, Європейської асоціації геонауковців і інженерів, а також Товариства петрофізиків і аналітиків каротажу свердловин. [17]

Серед інших особливостей Системи PRMS можна виділити такі:

- Врахування ризику комерційної реалізованості проєктів. Такий підхід дозволяє розрізняти проєкти з однаковою ресурсною базою, але різними перспективами розробки через інфраструктурні, економічні або регуляторні обмеження
- Необхідність підтвердження умов реалізації, тобто наявність ринку збуту, необхідних дозволів, технологій, виробничої інфраструктури та економічних передумов.
- Визначення майбутньої цінності ресурсної бази - потенціал активів на різних стадіях зрілості: запаси, умовні та перспективні ресурси. Це є важливим компонентом довгострокового портфелю проєктів в компанії, а також стратегічного планування її розвитку.
- Обов'язкове врахування невизначеності оцінок - визначенням діапазонів можливих результатів з використанням низької, найкращої та високої оцінок (P90, P50, P10) [1, 2, 3].

Як наслідок - така структура PRMS дозволяє використовувати результати ресурсної оцінки не лише для характеристики поточного стану ресурсної бази, а й як інформаційну основу для аналізу зрілості проєктів та планування їх подальшого розвитку.

Передумови впровадження та застосування PRMS в Україні. Процеси інтеграції України до міжнародного економічного та регуляторного простору почалися з моменту набуття Україною незалежності та суттєво активізувалися після 2014 року. В нафтогазовій галузі дедалі більшої актуальності набувало впровадження міжнародних стандартів, в тому числі і в напрямку оцінки та обліку ресурсної бази.

Якщо гармонізація національної системи обліку запасів з Рамковою класифікацією ресурсів Організації Об'єднаних Націй (РКООН, UNFC) розпочалася ще наприкінці 1990-х років [4], то Система PRMS лише зараз набуває свого розвитку в Україні [5].

Однією з причин зростання інтересу до Системи PRMS в Україні стала необхідність зробити оцінку запасів і ресурсів більш зрозумілою для міжнародних інвесторів. В міру збільшення обсягів залучення іноземного капіталу та розвитком співпраці із закордонними компаніями, виникла необхідність використовувати підходи до оцінки ресурсної бази, які дають змогу представляти її результати у звичному для міжнародної нафтогазової галузі форматі. Поступово питання застосування PRMS увійшло до професійного та нормативного поля України, зокрема стало предметом обговорення на рівні Державної служби геології та надр України, Державної комісії України по запасах корисних копалин, у галузевих і наукових публікаціях, а окремі положення знайшли відображення і в нормативній базі [6; 7; 8; 9, 20].

Важливо зазначити, що практичне застосування Системи PRMS в Україні розпочалося значно раніше за її нормативне впровадження. Насамперед Система PRMS використовувалася нафтогазовими компаніями України, діяльність яких була пов'язана із залученням іноземного капіталу та необхідністю підготовки звітності з більш зрозумілими для інвесторів поняттями та категоріями ресурсної бази.

Одним із найраніше виявлених авторами прикладів використання Системи PRMS в Україні у відкритих джерелах є оцінка активів Cadogan Petroleum, виконана в 2008 році компанією Gaffney, Cline & Associates [18].

Компанія Regal Petroleum PLC, в 2013 році публічно звітувала про незалежну оцінку запасів і ресурсів українських родовищ відповідно до стандарту SPE-PRMS. [10; 11].

Державна компанія "НАК "Нафтогаз України" за підсумками проведених відкритих конкурсних торгів в 2015 році обрала компанію Ryder Scott Company, LP (США) для проведення незалежної оцінки резервів (запасів та ресурсів) вуглеводнів нафтогазових родовищ і перспективних площ Нафтогазу, ПАТ "Укргазвидобування" та філії Нафтогазу в Арабській Республіці Єгипет станом на 31 грудня 2014 р."[12].

Наведені приклади свідчать, що фактичне впровадження принципів SPE-PRMS в Україні розпочалося в тому числі і під впливом практичної потреби нафтогазових компаній у залученні інвестицій, проходженні незалежного аудиту запасів та забезпеченні зрозумілості ресурсної бази для міжнародних партнерів.

Таким чином можна зробити висновок, що практика застосування PRMS в Україні формувалася насамперед у корпоративному секторі, переважно з метою залучення міжнародних партнерів та ресурсів банківських установ в нафтогазові проєкти. Лише згодом окремі підходи та принципи цієї системи почали привертати увагу державних органів у контексті гармонізації національної системи обліку ресурсної бази з міжнародними стандартами.

Особливості сприйняття PRMS в Україні. Попри наявність практичного досвіду застосування принципів PRMS в українській нафтогазовій галузі та їх регулярне обговорення в професійному колі, розуміння окремих принципів і підходів системи PRMS залишається неоднорідним. Як наслідок, питання практичного використання системи PRMS і сьогодні є предметом фахових дискусій та різних підходів до трактування її положень.

Аналіз професійних публікацій та офіційних повідомлень останніх років показують, що впровадження PRMS в Україні здебільшого розглядається як інструмент гармонізації звітності та підвищення інвестиційної привабливості галузі. Але, в той же час, значно менше уваги приділяється її використанню, як інструменту управління ресурсною базою.

В певній мірі, причиною цього може бути інституційна спадщина радянської системи обліку запасів.

Історично основним завданням оцінки запасів в Україні було забезпечення державного обліку ресурсної бази та ведення державного балансу запасів. Важливу роль у цьому процесі відігравала державна експертиза запасів, а результатом геологічного вивчення було підтвердження кількості запасів і визначення ступеня їх геологічної вивченості.

У центрі уваги такої системи традиційно перебувала достовірність геологічної інформації та ступінь вивченості покладу. Категорії запасів А, В, С1, С2 та прогнозні ресурси стали звичною мовою професійного спілкування для геологів, розробників, експертів і державних органів. Вони й сьогодні залишаються важливою складовою державної системи обліку та експертизи запасів, хоча паралельно використовуються й міжнародні підходи до класифікації запасів і ресурсів. [19, 20]

Водночас слід зазначити, що сучасна українська система класифікації суттєво еволюціонувала порівняно з історичною радянською моделлю. Гармонізація з Рамковою класифікацією ресурсів ООН (UNFC) сприяла ширшому врахуванню економічних факторів і стадії підготовки проєкту під час оцінки ресурсної бази. Проте підходи, сформовані навколо державної експертизи й обліку запасів вуглеводнів, на даний час і визначають те, як сприймаються нові класифікаційні системи.

Саме тому при знайомстві з PRMS українські фахівці часто сприймають її насамперед як альтернативну вітчизняній системі класифікації запасів і ресурсів або інструмент для підготовки міжнародної звітності. Водночас, у міжнародній практиці система PRMS використовується значно ширше. Вона не лише використовується для класифікації запасів і ресурсів, але й дозволяє оцінювати ступінь готовності проєкту до реалізації, його комерційну зрілість, наявні невизначеності та потенційні напрями подальшого розвитку. [1, 2, 3].

Таким чином, особливості сприйняття PRMS в Україні є закономірним результатом розвитку національної системи надрокористування. Для українського фахівця природним є сприйняття класифікації насамперед як інструменту обліку, експертизи та звітності.

Основні виклики застосування і впровадження PRMS в Україні. Українська нафтогазова галузь поступово освоює PRMS як систему класифікації запасів і ресурсів. Водночас значно складнішим завданням виглядає адаптація її основної філософії, яка передбачає використання ресурсної оцінки як інструменту підтримки управлінських та інвестиційних рішень протягом усього життєвого циклу проєкту.

На відміну від традиційних підходів, що переважно зосереджені на обліку ресурсної бази та визначенні її поточного стану, Система PRMS розглядає ресурси через призму конкретних проєктів освоєння, їх зрілості, ризиків і перспектив комерційної реалізації. [13].

В даний час надрокористувачі в Україні фактично можуть використовувати дві системи оцінки ресурсної бази, проте визначення найбільш пріоритетної є дискусійним. З одного боку, зберігаються підходи, сформовані системою державного обліку запасів та геолого-економічної оцінки. З іншого боку, зростає потреба в управлінні портфелем активів, оцінці ризиків та визначенні пріоритетних напрямів інвестування. Особливо це може стати актуальним в умовах обмежених бюджетів для фінансування. Саме в цьому контексті можна виділити кілька основних методологічних викликів впровадження і застосування PRMS в Україні.

Виклик 1. Співставлення категорій запасів в різних класифікаційних системах призвело до певної підміни сприйняття PRMS як класифікації, а не системи управління ресурсною базою.

Для багатьох фахівців знайомство з PRMS починається зі співставлення категорій запасів і ресурсів з національною класифікацією. У результаті основна увага часто зосереджується на питаннях класифікації, тоді як можливості PRMS як інструменту управління ресурсними проєктами та підтримки інвестиційних рішень залишаються менш пріоритетними.

Виклик 2. Перехід від оцінки ресурсів до управління їх розвитком.

На поточний час маючи результати оцінки ресурсної бази в системі PRMS, основний акцент спрямований на поточному статусі ресурсів і в меншій мірі – на управління їх еволюції. У традиційному підході ключовим результатом є визначення поточного стану ресурсної бази. В той же час, в класичній парадигмі PRMS основний акцент переноситься на розуміння того, які технічні, економічні та організаційні рішення необхідні для переведення ресурсів на наступний рівень зрілості та наближення їх до комерційного освоєння. Тобто формування дорожньої карти переходу ресурсів в запаси.

Виклик 3. Комплементарне використання системи PRMS та РК ООН задля найкращої ефективності управління ресурсною базою активів.

Особливістю українського контексту є те, що національна система класифікації вже тривалий час розвивається на основі принципів РК ООН. Тому практичне завдання для українського надрокористувача може полягати не у виборі між PRMS та РК ООН, а у використанні переваг обох систем. Такий підхід відповідає і міжнародній практиці: PRMS та РК ООН розглядаються як комплементарні системи, застосування яких залежить від мети оцінки та вимог до звітності.

Для українських компаній, які обліковують ресурсну базу вуглеводнів в обох системах, це дає можливість зберегти підхід до оцінки ресурсної бази, необхідний для державного обліку, і водночас ширше використовувати PRMS для представлення нафтогазових проєктів у форматі, зрозумілому міжнародним інвесторам, аудиторам, фінансовим установам і потенційним партнерам.

Виклик 4. Перехід від обліку запасів до управління показниками ефективності ресурсного портфеля.

Оцінка ресурсної бази за принципами PRMS може бути основою не лише для визначення її поточного стану, а й для аналізу ефективності її розвитку. Використання єдиного підходу до оцінки запасів і ресурсів дозволяє доповнити традиційний контроль їх абсолютних обсягів показниками, які характеризують зміни ресурсної бази та результати її відтворення. На відміну від традиційного та звичного акценту на абсолютному прирості запасів, у міжнародній практиці широко використовують такі показники як Reserve Replacement Ratio (RRR), Reserve Life Index (RLI), Gas Reserve to Production Ratio, Finding & Development Cost (F&D) тощо, які дають змогу оцінювати стійкість ресурсної бази, ефективність її відтворення та вартість створення нових запасів.

Тому одним із наступних кроків у розвитку підходів до управління ресурсною базою в Україні може стати формування системи відповідних галузевих Ключових показників ефективності (Key Performance Indicators – KPI) та їх адаптація до особливостей українських компаній. Другим шляхом може бути - проведення оцінки ресурсної бази за двома класифікаціями на об’єктах, які потребують додаткової розвідки. Це дозволить поступово змістити акцент з контролю абсолютного приросту запасів на оцінку того, наскільки ефективно компанія відтворює та розвиває свою ресурсну базу.

Висновки. Впровадження та застосування Системи PRMS в Україні полягає не стільки в гармонізації класифікацій або вдосконаленні термінології, скільки у зміні підходу до використання її результатів в оцінці ресурсної бази. Якщо традиційно об'єктом уваги є обсяги запасів і ресурсів та їх державний облік, то при використанні Системи PRMS важливо переходити до розуміння зрілості проєктів, умов та обмежень їх

подальшого розвитку, використання ключових показників ефективності при плануванні подальшої діяльності.

При цьому використання Системи PRMS не повинно означати відмову від підходів, які вже використовуються в Україні. Більш доцільним є взаємне доповнення Системи PRMS та РК ООН в залежності від цілей оцінки ресурсної бази, - державний облік та звітність, чи прийняття управлінських рішень розвитку проекту. Такий підхід узгоджується з позицією Європейської економічної комісії ООН (UNECE), відповідно до якої PRMS та РК ООН є комплементарними системами, а їх застосування залежить від цілей оцінки та вимог до звітності.

Таким чином, на даний час, необхідно відмовитися від парадигми сприйняття Системи PRMS лише як ще однієї системи класифікації запасів і ресурсів. У такому випадку її застосування фактично обмежується представленням ресурсної бази в іншому форматі, тоді як проєктно-орієнтований підхід PRMS дає можливість використовувати результати ресурсної оцінки значно ширше, зокрема як інформаційну основу для планування розвитку проєктів, аналізу ресурсного портфеля та прийняття управлінських рішень.

Список використаних джерел:

1. DiLuzio D. *Petroleum Resources Management System (PRMS): Maintaining the Global Standard and Addressing Key Issues* [PowerPoint presentation]. Society of Petroleum Engineers Distinguished Lecturer Program. URL: https://www.ryderscott.com/wp-content/uploads/2025/01/Dan-DiLuzio.pdf
2. Society of Petroleum Engineers. *Petroleum Reserves and Resources Definitions*. URL: https://www.spe.org/en/industry/reserves/
3. Society of Petroleum Engineers, World Petroleum Council, American Association of Petroleum Geologists, Society of Petroleum Evaluation Engineers, Society of Exploration Geophysicists, Society of Petrophysicists and Well Log Analysts, European Association of Geoscientists & Engineers. *Petroleum Resources Management System (PRMS).* Version 1.03. 2018. URL: https://www.spe.org/media/filer_public/0c/83/0c835db9-501f-4ce7-97f1-a1d6bb4e3331/prmgmtsystem_v103.pdf
4. Державна комісія України по запасах корисних копалин. Україна вносить зміни до своєї національної системи класифікації запасів і ресурсів корисних копалин державного фонду надр згідно з чинними удосконаленнями в РКООН. 02.11.2018. URL: https://www.dkz.gov.ua/ua/155-ukrajina-vnosit-zmini-do-svoeji-natsionalnoji-sistemi-klasifikatsiji-zapasiv-i-resursiv-korisnikh-kopalin-derzhavnogo-fondu-nadr-zgidno-z-chinnimi-udoskonalennyami-v-rkoon
5. Державна комісія України по запасах корисних копалин. Методичні рекомендації щодо застосування класифікації запасів та ресурсів нафти і газу за системою управління вуглеводневими ресурсами (Petroleum Resources Management System – PRMS). 02.03.2021. URL: https://dkz.gov.ua/ua/218-metodichni-rekomendatsiji-shchodo-zastosuvannya-klasifikatsiji-zapasiv-ta-resursiv-nafti-i-gazu-za-sistemoyu-upravlinnya-vuglevodnevimi-resursami-petroleum-resources-management-system-prms
6. Державна служба геології та надр України. PRMS – мова, на якій спілкується світ. 21.12.2020. URL: https://www.geo.gov.ua/prms-mova-na-yakij-spilkuyetsya-svit/
7. Паюк С. Нашій системі обліку запасів корисних копалин заздрять чимало держав : інтерв'ю // NADRA.INFO. 23.11.2023. URL: https://nadra.info/2023/11/dkz-serhiy-payuk-many-countries-are-jealous-of-our-mineral-reserve-accounting-system/
8. Кодекс України про надра: Закон України від 27.07.1994 № 132/94-ВР, зі змінами. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/132/94-%D0%B2%D1%80 [zakon.rada.gov.ua]
9. Державна комісія України по запасах корисних копалин. ДКЗ інформує надрокористувачів щодо оцінки запасів та ресурсів вуглеводнів за класифікаційною

системою PRMS. 14.06.2021. URL: https://dkz.gov.ua/ua/222-dkz-informue-nadrokoristuvachiv-shchodo-otsinki-zapasiv-ta-resursiv-vuglevodniv-za-klasifikatsijnoyu-sistemoyu-prms

10. Regal Petroleum plc. *Reserves and Resources Update* // MarketScreener. 21.08.2019. URL: https://www.marketscreener.com/quote/stock/ENWELL-ENERGY-PLC-4003987/news/Regal-Petroleum-Reserves-and-Resources-Update-29094166/

11. Gaffney, Cline & Associates Ltd. *Reserves and Resources Update*. 26.01.2009. URL: https://www.cadoganenergysolutions.com/~/media/Files/C/cadogan-energy/investor/reports/reserves_update/reserves_update.pdf
Документ підготовлений Gaffney, Cline & Associates Ltd. для Cadogan Petroleum plc.

12. «Нафтогаз» обрав оцінювача родовищ компанії в Криму та Єгипті // РБК-Україна. 13.03.2015. URL: https://www.rbc.ua/ukr/news/naftogaz-vybral-otsenshchika-mestorozhdeniy-1426248050.html

13. Moridis N., Quist M., Lee W. J., Sim W., Blasingame T. Defining and Deriving the Proper Order of Movements from Prospective Resources, to Contingent Resources, to Reserves and Back. SPE-195298-MS. 2019. DOI: https://doi.org/10.2118/195298-MS [vivo.libra...y.tamu.edu]

14. Hasan S. OGRC Advancing Global Consistency in Reserves Reporting Through PRMS Training // *Journal of Petroleum Technology*. 01.07.2026. URL: https://jpt.spe.org/ogrc-advancing-global-consistency-in-reserves-reporting-through-prms-training [jpt.spe.org]

15. Society of Petroleum Engineers. *Petroleum Resources Management System Frequently Asked Questions (PRMS FAQs).* URL: https://www.spe.org/en/industry/reserves/prms-faqs/

16. Society of Petroleum Engineers Oil and Gas Reserves Committee. *Extension of PRMS Principles to Non-Hydrocarbon/Non-Traditional Situations.* August 2022. URL: https://www.spe.org/en/industry/reserves/non-hydrocarbons/

17. Про затвердження Положення про Державну комісію України по запасах корисних копалин : Постанова Кабінету Міністрів України від 10.11.2000 № 1689. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1689-2000-%D0%BF

18. Рудько Г. І., Михайлів І. Р. Методичні аспекти застосування PRMS-SPE до геолого-економічної оцінки запасів нафти й газу в Україні // *Мінеральні ресурси України*. 2018. № 4. С. 37–44. DOI: https://doi.org/10.31996/mru.2018.4.37-44

19. United Nations Economic Commission for Europe. *Bridging Document between the Petroleum Resources Management System and the United Nations Framework Classification for Resources: 2023 Update.* Geneva: UNECE, 2023. URL: https://unece.org/sites/default/files/2023-12/PRMS_UNFC_Bridging_Document_Update_2023.pdf

20. KPI Depot. URL: https://kpidepot.com/

УДК 553.04:004.623

ПРАКТИКА ВЕРИФІКАЦІЇ ГЕОПРОСТОРОВИХ ДАНИХ ПРИ ГЕОЛОГО-ЕКОНОМІЧНІЙ ОЦІНЦІ РОДОВИЩ КОРИСНИХ КОПАЛИН

Бала В.В., *к. геол. н., ORCID ID: 0000-0001-6180-5126, balavv79@gmail.com;*
Паюк С.О., *ORCID ID: 0000-0003-0592-4758, golova@dkz.gov.ua;*
Бала Г.Р., *ORCID ID: 0000-0001-6180-5126, annabala79@gmail.com;*
Державна комісія України по запасах корисних копалин, Київ, Україна

У статті досліджено практичний досвід ДКЗ України щодо впровадження та проведення обов'язкової експертизи геопросторових даних у процесі геолого-економічної оцінки (ГЕО) родовищ корисних копалин. Розглянуто нормативно-правове підґрунтя цифровізації сфери надрокористування, зокрема зміни до Кодексу України про надра та Положення про порядок проведення державної експертизи, які законодавчо закріпили поняття геопросторових даних як невід'ємної складової ГЕО. Описано основні технічні вимоги до подання геопросторових даних надрокористувачами, зокрема використання файлів формату Shapefile (.shp) у системі координат WGS 84 та універсальній поперечній проєкції Меркатора (UTM) для зон 34N–37N. Наведено матрицю основних контурів для різних видів корисних копалин та способів їх розробки. Сформульовано та структуровано покроковий базовий алгоритм перевірки геопросторових даних у середовищі ГІС, який охоплює адміністративно-територіальний аналіз, контроль накладання на об'єкти Державного балансу запасів корисних копалин, перетини з чинними спеціальними дозволами на користування надрами, екологічний аудит (ПЗФ, Смарагдова мережа), а також земельну та водокористувальний верифікацію.

Ключові слова: геопросторові дані, геолого-економічна оцінка (ГЕО), ДКЗ України, георефернування, Shapefile, контури підрахунку запасів, ГІС-технології.

GEOSPATIAL DATA VERIFICATION PROCEDURES DURING GEOLOGICAL AND ECONOMIC ASSESSMENT OF MINERAL DEPOSITS

Bala V.*, PhD (Geol.), ORCID ID: 0000-0001-6180-5126, balavv79@gmail.com;*
Paiuk S., *ORCID ID: 0000-0003-0592-4758, golova@dkz.gov.ua;*
Bala H., *ORCID ID: 0000-0001-6180-5126, annabala79@gmail.com;*
State Commission of Ukraine on Mineral Resources, Kyiv, Ukraine

The State Commission of Ukraine on Mineral Resources' practical experience in the implementation and conduct of mandatory geospatial data expert appraisal during the geological and economic assessment (GEA) of mineral deposits has been examined. The regulatory framework for digitalizing the subsoil use sector has been analyzed, particularly, amendments to the Subsoil Code of Ukraine and the Regulation on the Procedure for Conducting State Expert Appraisal, which have enshrined in law the concept of geospatial data as GEA's inherent component. Primary technical requirements for geospatial data submitted by subsoil users have been described, including the use of Shapefile (.shp) in the WGS 84 coordinate system and the Universal Transverse Mercator (UTM) projection for zones 34N–37N. A matrix of the main contours for various minerals has been provided. A step-by-step basic algorithm for verifying geospatial data within a GIS environment has been developed and structured, including the administrative-territorial analysis, verification of overlaps with objects in the State Balance of Mineral Resources, intersections with valid special subsoil use permits, environmental audit (Emerald Network and Nature Reserve Fund), and land and water-use verification.

Keywords: geospatial data, geological and economic assessment (GEA), State Commission of Ukraine on Mineral Resources, georeferencing, Shapefile, reserve estimation contours, GIS technologies.

Основою правового регулювання у сфері надрокористування в Україні є Кодекс України про надра від 27.07.1994 № 132/94-ВР (далі – Кодекс). У 2022 році стартували масштабні реформи надрокористування започатковані Законом України № 2805-IX «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо удосконалення законодавства у сфері користування надрами» (далі Законом № 2805-IX), що набрали чинності у березні 2023 р. З урахуванням змін внесених Законом № 2805-IX Кодекс регулює всі аспекти користування надрами, у ньому закладено механізми, які визначають порядок надання прав на видобування та управління запасами корисних копалин.

Реформи, впроваджені Законом № 2805-IX, тісно пов'язані із Законом України «Про національну інфраструктуру геопросторових даних», який встановив єдині правові та організаційні засади для створення геоінформаційних систем в Україні. Цей нормативний акт зобов'язав усі державні органи інтегрувати свої профільні дані (зокрема про природні ресурси, надра та екологію) у загальнонаціональний геопортал.

Зміни «цифровізація Кодексу про надра», що розпочаті Законом № 2805-IX були продовжені Кабінетом Міністрів України (далі — КМУ) і безпосередньо торкнулася сфери відповідальності ДКЗ. Постановою КМУ від 04.07.2023 № 749 «Про внесення змін та визнання такими, що втратили чинність, деяких постанов Кабінету Міністрів України щодо користування надрами» було оновлено Положення про порядок проведення державної експертизи та оцінки запасів корисних копалин, затверджене постановою КМУ від 22.12.1994 № 865 (далі – Положення про експертизу).

Зміни до Положення про експертизу запровадили обов'язкову перевірку геопросторових даних розміщення запасів та ресурсів корисних копалин (далі – ГЕО) під час проведення державної експертизи матеріалів звітів із геологічного вивчення родовищ, підрахунку їх запасів та техніко-економічного обґрунтування промислового значення. Внаслідок цього поняття "геопросторових даних" стало невід’ємною частиною самого визначення геолого-економічної оцінки.

Головною проблематикою, яку вбачали на початковому етапі впровадження геопросторових даних під час проведення державної експертизи, були [6]:

– інтеграція чинного законодавства про геопросторові дані у процедуру державної експертизи;

– обґрунтування меж родовищ, що розробляються відкритим способом, а також родовищ підземних вод;

– визначення вичерпного переліку геопросторових даних для різних видів корисних копалин, які підлягають експертизі;

– вибір оптимального цифрового формату для збереження геопросторових даних;

– уніфікація відображення результатів експертизи ГЕО у рішеннях колегії ДКЗ України, оформлених протоколами.

Після реалізації змін у законодавство, була впроваджена окрема спеціальна експертиза геопросторових даних розміщення запасів та ресурсів корисних копалин, що подаються у складі матеріалів звіту ГЕО. Також можлива окрема експертиза геопросторових даних розміщення запасів та ресурсів корисних копалин, сформованих на підставі матеріалів ГЕО, що пройшли державну експертизу у ДКЗ до 2023 р.

У серпні 2023 року до складу експертів ДКЗ залучено профільних фахівців із ГІС-технологій за напрямом експертизи геопросторових даних. У грудні 2025 року оновлено та актуалізовано Регламент проведення державної експертизи геологічних матеріалів з вивчення і використання надр та оцінки запасів корисних копалин.

Упродовж 3 років практика проведення експертизи геопросторових даних розміщення запасів та ресурсів корисних копалин, набула своїх особливостей.

На сучасному етапі надрокористувачі подають геопросторові дані про запаси та ресурси корисних копалин у складі звітів з ГЕО (або побудовані на базі матеріалів ГЕО, що пройшли державну експертизу у ДКЗ) у вигляді векторних файлів формату Shapefile (далі – «.shp»).

Електронні файли формату «.shp» містять набір топологічно коректних контурів підрахунку запасів корисних копалин, склад яких диференціюється залежно від виду корисної копалини та способу її розробки (табл. 1).

Таблиця 1

Матриця основних геопросторових контурів для різних видів родовищ корисних копалин

Перелік контурів	Визначення контурів для різних корисних копалин			
	Для корисних копалин, що розробляються відкритим способом	Для корисних копалин, що розробляються підземним способом	Для родовищ підземних вод	Для родовищ вуглеводнів
Загальний контур запасів	+	+	+	+
Контури запасів з різним промисловим значенням	+	+		+
Контури запасів різних технологічних типів корисних копалин	+	+		
Контури ресурсів	+	+	+	+
Контури кар'єрів (обґрунтованих проєктами розробки, ТЕО або ТЕП)	+			
Контур гірничого відводу	+/-	+		
Контур технічних меж шахти		+		
Контур водозабору			+	
Контури II поясу зони санітарної охорони			+	
Координати гирла свердловин			+	
Загальні контури покладів				+
Технологічний контур	+	+		

Окрім зазначених контурів, файли «.shp» містять контури меж спеціального дозволу на користування надрами та контури ділянок визначених під час державної реєстрації робіт і досліджень, пов'язаних із геологічним вивченням надр (далі – РДГВН) за формою 3-гр.

Наведений перелік контурів не є вичерпним і може розширюватися відповідно до специфіки конкретного родовища та завдань, що вирішуються в ГЕО.

Відповідно до вимог статті 16^2 Кодексу про надра, побудова цифрових контурів здійснюється з використанням світової геодезичної системи 1984 року (WGS 84). Для відображення на картографічному матеріалі використовується універсальна поперечна проєкції Меркатора (UTM) з урахуванням того, що територія України у системі UTM охоплює чотири зони (34N, 35N, 36N та 37N).

Основним завданням експертизи геопросторових даних в ДКЗ є комплексна верифікація просторової інформації. На основі трирічного досвіду фахівцями ДКЗ сформовано базовий алгоритм перевірки даних, який виконується за такими основними етапами:

1. Адміністративно-територіальний аналіз – перевірка географічного розташування та адміністративної приналежності наданих точкових і полігональних об'єктів.
2. Георефернування растрових матеріалів – перевірка правильності геометричного поєднання та ув'язки растрових графічних матеріалів (планів підрахунку запасів, тощо) із цифровими контурами в середовищі ГІС.
3. Контроль накладання на запаси корисних копалин, що обліковуються на Державному балансі запасів корисних копалин – перевірка на наявність просторових перетинів з існуючими родовищами аналогічних корисних копалин, що вже обліковуються.
4. Контроль правового статусу надрокористування – перевірка на перетини з межами чинних спеціальних дозволів на користування надрами.
5. Аналіз обліку робіт – перевірка на просторовий збіг із зареєстрованими об'єктами за формами 3-гр (державний облік робіт із геологічного вивчення надр).

6. Аналіз інженерно-інфраструктурних обмежень – перевірка на наявність перетинів з територіями, де видобуток корисних копалин обмежений або неможливий (охоронні зони ЛЕП, залізниць, автошляхів, магістральних газопроводів, житлової та промислової забудови, меліоративних каналів тощо).

7. Екологічний аудит національного рівня – перевірка на перетини з межами об’єктів природно-заповідного фонду (ПЗФ) України за офіційними геопросторовими даними Міндовкілля.

8. Екологічний аудит міжнародного рівня – перевірка на перетини з територіями Смарагдової мережі (Emerald Network) через офіційний європейський геопортал.

9. Земельно-кадастровий аналіз – перевірка накладання на земельні ділянки, зареєстровані у Державному земельному кадастрі (ДЗК).

10. Додатково для верифікації об'єктів водокористування – звірка координат водозабірних свердловин із даними Державного реєстру артезіанських свердловин.

Під час експертної перевірки та верифікації геопросторових даних за наведеним алгоритмом експерт ДКЗ може виявити низку критичних недоліків, топографо-геометричних помилок та нормативно-правових обмежень. Залежно від характеру та масштабу виявлених "помилок", вони диференціюються на дві основні категорії: ті, що можуть бути оперативно враховані й усунені на стадії експертизи ГЕО родовища корисних копалин, та ті, що потребують процесу внесення змін безпосередньо до чинного спеціального дозволу на користування надрами або інших правових документів (форма 3-гр та інших).

Таблиця 2

Результати аналізу геопросторових помилок та їхній вплив на експертизу

Етап перевірки	Типова геопросторова помилка / недолік	Наслідок виявлення для надрокористувача та експертизи
1	*2*	*3*
1. Адміністративно-територіальний	Розбіжність між географічним положенням «.shp» файлу та текстовим описом меж громади чи району у спецдозволі	Враховується під час експертизи ГЕО: Потребує оперативного коригування тексту звіту. Якщо ж об'єкт помилково «перетнув» межу іншої області, це вимагає ініціювання змін до спецдозволу.
2. Геореферування растрових матеріалів	Просторовий зсув, кутовий розворот або деформація растрового плану підрахунку запасів відносно векторних меж.	Враховується під час експертизи ГЕО: Матеріали повертаються розробнику на технічне доопрацювання (повторне вирівнювання ГІС-моделі, перерахунок запасів без зупинки експертизи).
3. Контроль накладання на об'єкти Держбалансу	Частковий просторовий перетин меж з родовищем, що стоїть на обліку або надано у користування іншому надрокористувачу	Враховується під час експертизи ГЕО: Матеріали підрахунку запасів коригуються безпосередньо під час експертизи – площі накладання виключаються з промислового контуру
4. Контроль правового статусу надрокористування	Вихід векторного полігона підрахунку запасів або кар'єру за географічні межі, визначені спеціальним дозволом	Вимагає внесення змін до спецдозволу. Надрокористувач змушений або «урізати» контур підрахунку під час ГЕО, або офіційно розширювати межі самого спецдозволу.
5. Аналіз обліку робіт (форми 3-гр)	Вихід векторного полігона підрахунку запасів або кар'єру за географічні межі зареєстрованих геологічних робіт.	Враховується під час експертизи ГЕО за рахунок «урізання» контуру підрахунку під час ГЕО або необхідність внесення змін до реєстраційних документів форми 3-гр у Держгеослужбі для легалізації проведених досліджень.

1	*2*	*3*
6. Аналіз інженерно-інфраструктурних обмежень	Заходження контурів кар'єру чи запасів в охоронні зони магістральних комунікацій (газопроводи, ЛЕП, залізниці).	Враховується під час експертизи ГЕО: Експерт зобов'язує перевести запаси в межах охоронних циліків до запасів іншого промислового значення, що може змінити рентабельність проєкту.
7. Екологічний аудит національного рівня	Накладання проектованих меж надрокористування на заповідні території природно-заповідного фонду (ПЗФ) України.	Враховується під час експертизи ГЕО: Експерт зобов'язує перевести запаси в межах охоронних циліків до запасів іншого промислового значення, що може змінити рентабельність проєкту. З подальшим внесенням змін до спецдозволу: Залежно від статусу ПЗФ, наслідком є або безальтернативне вилучення цих ділянок із меж спецдозволу, або повна відмова у затвердженні запасів через законодавчу заборону.
8. Екологічний аудит міжнародного рівня	Перетин меж графічних об'єктів із територіями особливого природоохоронного значення Смарагдової мережі (Emerald Network).	Враховується під час експертизи ГЕО: Зумовлює необхідність обов'язкового врахування додаткових екологічних ризиків, обмежень та витрат на природоохоронні заходи у ТЕО родовища.
9. Земельно-кадастровий аналіз	Накладання контуру кар'єру земельні ділянки ДЗК із цільовим призначенням що не передбачає видобуток корисних копалин	Враховується під час експертизи ГЕО: Наслідком є обов'язкове закладання додаткових капітальних витрат на майбутній викуп, зміну цільового призначення чи оренду цих земель в економічну частину проєкту.
10. Верифікація об'єктів водокористування	Лінійне відхилення (помилка) фактичних координат водозабірних свердловин від даних Державного реєстру артезіанських свердловин.	Враховується під час експертизи ГЕО: Повернення матеріалів розробнику для проведення повторної геодезичної зйомки устя свердловин та внесення виправлень до паспортних даних і матеріалів ГЕО.

За результатами проведеного аналізу за базовим алгоритмом, експерт із геопросторових даних складає, засвідчує відповідний висновок та подає його до ДКЗ. За результатами експертизи, у разі потреби, надрокористувач вносить зміни до геопросторових даних для усунення невідповідностей або здійснення інших доопрацювань.

У своїх експертних висновках за результатами опрацювання геопросторових даних експерти наводять параметри погоджених контурів зазвичай у табличній формі (табл. 3).

Таблиця 3

Форма таблиці з ідентифікаційними параметрами погоджених контурів

Назва контуру	Центр полігона, десяткові градуси (DD)		Кількість точок	Екстент полігона, десяткові градуси (DD)				Площа, га
	Схід. довгота	Півн. широта		Захід	Південь	Схід	Північ	
Загальний контур підрахунку запасів	26,36xxxxxx	51,51xxxxxx	77	26,35xxxxxx	51,40xxxxx	26,36xxxxx	51,51xxxxxx	8,66
Контури підрахунку запасів з різними промисловими значеннями (балансові, позабалансові, тощо)	26,36xxxxxx	51,61xxxxxx	67	26,35xxxxxx	51,40xxxxx	26,36xxxxx	51,51xxxxxx	8,46
Технологічний контур	26,36xxxxxx	51,51xxxxxx	5	26,35xxxxxx	51,40xxxxx	26,36xxxxx	51,51xxxxxx	9,47
Інші контури	26,36xxxxxx	51,50xxxxxx	78	26,35xxxxxx	51,40xxxxx	26,36xxxxx	51,51xxxxxx	0,2

Ідентифікаторами слугують назви відповідних контурів та унікальний набір їхніх геометричних і географічних параметрів (координати центра полігона, кількість поворотних точок, просторовий екстент та площа об'єкта), за якими сформовані контури у форматі «.shp»

повністю ототожнюються з даними, що подавалися на перевірку. При необхідності до назв контурів можуть додаватися специфічні географічні або геологічні атрибути (наприклад, глибину залягання**,** номери пластів, тощо).

Для візуалізації набору контурів, що подаються з матеріалами ГЕО, експертами ДКЗ у своїх висновках формують ситуаційний план або план схема на яких відображають всі контури об’єкту досліджень, а також їх просторове співвідношення із суміжними ділянками надр, межами раніше затверджених запасів та контурами інших родовищ корисних копалин.

Ситуаційний план (або план-схема) з розташуванням контурів об’єктів може бути відображений на різних картографічних основах (OpenStreetMap, ArcGIS, Esri Topographic/Imagery, або Google Maps, супутникові та векторні карти) для кращої інформативності (рис. 1).

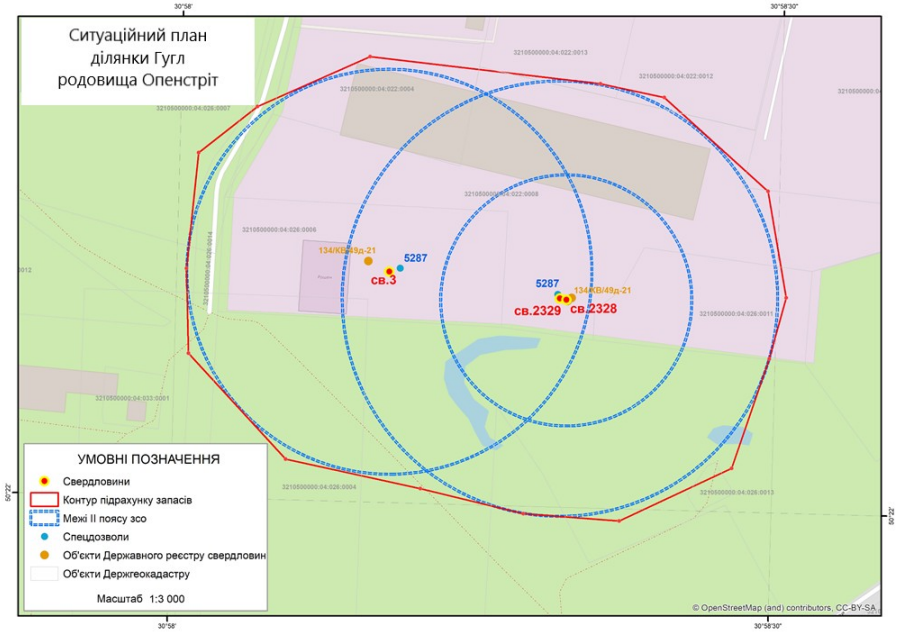


Рис. 1 Розташування просторових об’єктів на базовій карті OpenStreet програми ArcGIS

На підставі експертних висновків верифіковані контури запасів корисних копалин із засвідченими експертом ідентифікаторами зазначаються в рішеннях ДКЗ, які оформлюються протоколами. Для забезпечення єдиного циклу геоінформаційного обліку надр геопросторові дані в обов’язковому порядку передаються до ДНВП «Геоінформ України», як у складі звіту, так і окремо.

Погоджені протоколом контури отримують «цифровий ідентифікатор» у державній базі даних, а геологічний звіт (з результатами ГЕО) та файли геопросторових даних зв’язуються в єдиний інформаційний комплекс.

Впровадження геопросторових даних під час проведення державної експертизи унеможливлює зловживання з контурами ділянок надр у межах спеціального дозволу, які відтепер повністю відповідають геологічній моделі, затвердженій у ДКЗ. Дані про запаси та їхня цифрова геопросторова модель назавжди формують єдиний нерозривний «архів», що зберігається у ДНВП «Геоінформ України». Погоджені ДКЗ файли є офіційною основою для оновлення «цифрової карти надр» і коректного відображення в державних геоінформаційних системах (Державного геологічного порталу).

Геопросторові дані родовищ в Україні впроваджуються та використовуються в межах розбудови Національної інфраструктури геопросторових даних і цифровізації сфери надрокористування, що сприяє інтегрування до європейської інфраструктури.

Головні переваги впровадження геопросторових даних:

- Планування та розширення бізнесу: Надрокористувачі отримують можливість бачити вільні ділянки навколо свого родовища, діючі ліцензії інших компаній, що дозволяє ефективно планувати подальший розвиток.
- Точність гірничих робіт: Завдяки точній цифровій прив'язці родовища маркшейдери та інженери компанії можуть безпомилково планувати гірничі роботи.

• Екологічний контроль та мінімізація ризиків: Накладання цифрових меж родовища на території та об’єкти природно-заповідного фонду України (ПЗФ) дозволяє виявляти потенційні ризики ще на етапі проєктування. Це захищає бізнес від випадкового заходження на заповідні території, значних екологічних штрафів та зупинки виробничого процесу.

• Правовий захист надрокористувача: Присвоєння унікального «цифрового ідентифікатора» в протоколах ДКЗ чітко фіксує координати родовища. Це унеможливлює перетин або накладання меж інших ліцензійних ділянок і захищає від майнових та судових спорів із суміжними надрокористувачами.

Список використаних джерел:

1. Закон України № 2805-IX "Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо удосконалення законодавства у сфері користування надрами". Офіційний вісник України від 10.01.2023-2023 рр., № 2, стор. 99, стаття 85, код акта 115714/2022.
2. Кодекс України про надра. Відомості Верховної Ради України від 06.09.1994 – 1994 р., № 36, стаття 340.
3. Постанова Кабінету Міністрів України від 22.12.1994 № 865 Про затвердження Положення про порядок проведення державної експертизи та оцінки запасів корисних копалин.. Електронний ресурс: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/865-94-%D0%BF#Text.
4. Постанова Кабінету Міністрів України від 04.07.2023 № 749 Про внесення змін та визнання такими, що втратили чинність, деяких постанов Кабінету Міністрів України щодо користування надрами. Електронний ресурс: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/749-2023-%D0%BF#Text.
5. Законом України «Про національну інфраструктуру геопросторових даних» від 13.04.2020 № 554-IX. (2020). Відомості Верховної Ради України, № 32, ст. 237. Електронний ресурс: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/554-20#Text
6. Нецький О.В., Паюк С.О. «Зміни законодавства як чинники подальшого розвитку і трансформації державної експертизи та оцінки запасів корисних копалин». Матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції «Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування». Електронний ресурс: https://conf.dkz.gov.ua/files/2023_materials_net.pdf

References

Code of Ukraine on Subsoil. (1994). *Bulletin of the Verkhovna Rada of Ukraine*, (36), Article 340 [in Ukrainian].

Law of Ukraine No. 554-IX: On the National Geospatial Data Infrastructure. (2020, April 13). *Bulletin of the Verkhovna Rada of Ukraine*, (32), 237 [in Ukrainian]. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/554-20#Text

Law of Ukraine No. 2805-IX: On amendments to certain legislative acts of Ukraine on improving legislation in the sphere of subsoil use. (2023). *Official Gazette of Ukraine*, (2) [in Ukrainian]. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2805-20#Text

Netskyi, O. V., & Paiuk, S. O. (2023). Amendments in legislation as factors of further development and transformation of state expert appraisal and assessment of mineral reserves. *Proceedings of the 8th International Scientific and Practical Conference Subsoil Use in Ukraine. Investment Prospects* [in Ukrainian]. https://conf.dkz.gov.ua/files/2023_materials_net.pdf

Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 749: On amendments and repeal of certain resolutions of the Cabinet of Ministers of Ukraine on subsoil use. (2023, July 4) [in Ukrainian]. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/749-2023-%D0%BF#Text

Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 865: On approval of the Regulation on the Procedure for State Expert Appraisal and Assessment of Mineral Reserves. (1994, December 22) [in Ukrainian]. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/865-94-%D0%BF#Text

УДК 553.9

СУЧАСНІ АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ КЛАСИФІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ ОЦІНКИ ЗАПАСІВ ТА РЕСУРСІВ ВУГЛЕВОДНІВ В УКРАЇНІ

Паюк С.О.*[1]*, *ORCID ID 0000-0003-0592-4758, golova@dkz.gov.ua;*
Соболь В.В.*[1]*, *к. геол. н., ORCID ID 0009-0009-1437-1906, vasyl.sobol@dkz.gov.ua,*
Гетьман О.В.*[2]*, *ORCID ID 0009-0007-4953-5507, Alenka500@ukr.net,*
1 – Державна комісія України по запасах корисних копалин, Київ, Україна,
2 – АТ "Укргазвидобування", НАК "Нафтогаз України"

Висвітлено аспекти оцінки запасів та ресурсів за різними класифікаційними системами, питання їх відмінностей, особливостей, переваг та недоліків в умовах сьогодення. Відмічено світові тенденції гармонізації різних класифікаційних систем оцінки запасів вуглеводнів, що в близькій чи довгостроковій перспективі приведуть до інтеграції класифікаційних систем – аж до формування єдиної універсальної системи.

Ключові слова: Класифікація, запаси, ресурси, геолого-економічна оцінка, РКООН-2019.

CURRENT ASPECTS OF THE APPLICATION OF CLASSIFICATION SYSTEMS FOR THE ASSESSMENT OF HYDROCARBON RESERVES AND RESOURCES IN UKRAINE

Paiuk S.*[1]*, *ORCID ID 0000-0003-0592-4758, golova@dkz.gov.ua;*
Sobol V.*[1]*, *PhD (Geol.), ORCID ID 0009-0009-1437-1906, vasyl.sobol@dkz.gov.ua,*
Hetman O.*[2]*, *ORCID ID 0009-0007-4953-5507, Alenka500@ukr.net,*
1 – State Commission of Ukraine on Mineral Resources, Kyiv, Ukraine,
2 – JSC "Ukrgasvydobuvannya", NJSC "Naftogaz of Ukraine"

Aspects of hydrocarbon reserve and resource assessment using various classification systems, issues related to their differences, specific features, advantages, and disadvantages under current conditions have been outlined. Global trends towards the harmonization of various classification systems for the hydrocarbon reserve assessment, which are expected to lead to their integration ultimately resulting in the development of a single, universal system in the short or long term, have been highlighted.

Keywords: Classification, reserves, resources, geological and economic assessment, UNFC-2019.

Вступ. Основним інструментом для оцінки родовищ корисних копалин з точки зору їх комерційної привабливості, промислового значення, геологічної вивчення та державного обліку є класифікації запасів та ресурсів корисних копалин. Класифікаційні системи оцінки запасів і ресурсів корисних копалин широко застосовуються як державними, так і міжнародними фінансовими та промисловими структурами.

В Україні діє Класифікація запасів і ресурсів корисних копалин державного фонду надр, затверджена постановою Кабінету Міністрів України від 5 травня 1997 р. № 432, із змінами і доповненнями (далі – Класифікація) [1], що забезпечує гармонізацію національної системи підрахунку й обліку запасів з міжнародною класифікаційною системою Рамкова Класифікація ресурсів Організації Об'єднаних Націй (UNFC/РКООН-2019). Державна комісія України по запасах корисних копалин бере активну участь в розробці й подальшому розвитку РКООН-2019 і специфікацій щодо її застосування до різних видів природних ресурсів.

В умовах сьогодення РКООН слугує основою для глобальних оцінок і геополітичних прогнозів з питань енергетичної та мінеральної сировини і з того часу ця система добре працює в Україні при виконанні функцій управління ресурсами. На рівні з нею точково застосовуються CRIRSCO, PRMS, МАГАТЕ та інші.

Виклад основного матеріалу. Питання застосування класифікаційних систем оцінки запасів та ресурсів корисних копалин, їх зіставлення і гармонізації між собою актуальне як в Україні так і в усьому світі.

Процедура затвердження запасів за міжнародними стандартами звітності запасів і ресурсів є обов'язковою для компаній, акції яких котуються на міжнародних біржових майданчиках, або компаній, що планують IPO (Initial Public Offering – первинне публічне розміщення цінних паперів).

На сьогодні одними з надзвичайно важливих для економіки корисних копалин є нафта та газ (вуглеводні). Саме їх дефіцит на ринку є одним з чинників, які вагомо впливають на соціально-економічну ситуацію в країні та світі, і є гостро обговорюваною.

Розпочнемо з екскурсу (огляду) класифікаційних систем оцінки запасів і ресурсів вуглеводнів, які найбільш широко застосовуються в Україні, а саме національної Класифікації запасів і ресурсів корисних копалин державного фонду надр та міжнародної системи управління вуглеводневими ресурсами (Petroleum Resources Management System – PRMS).

Класифікація, наряду з іншими класифікаційними системами, базується на міжнародній РКООН та оцінює практично всі види корисних копалин, на відміну від класифікаційної системи PRMS, призначеної виключно для вуглеводневих корисних копалин.

РКООН-2019 – універсальна система, в якій запаси класифікують на основі трьох фундаментальних критеріїв (рис. 1):

1) *соціально-економічної життєздатності проєкту* (вісь E);

2) *статусу й обґрунтованості проєкту освоєння родовища, як технічної так і технологічної* (вісь F);

3) *геологічної вивченості або рівня достовірності інформації* (вісь G),

з використанням цифрової системи кодів. Комбінації цих критеріїв створюють тривимірну систему кодів.

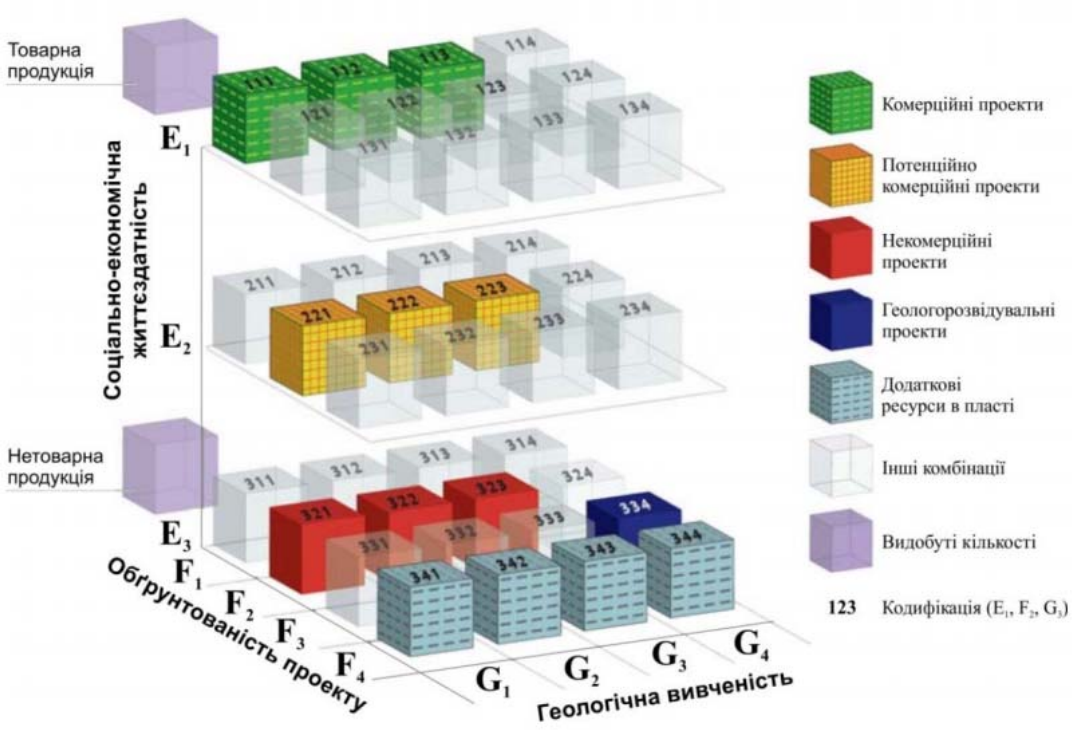


Рис. 1. Категорії Рамковій Класифікації ресурсів ООН (РКООН-2019) та принципи розподілу запасів і ресурсів корисних копалин, прийняті в Класифікації

Саме ці критерії лежать в основі оцінювання проєктів з видобутку критичних корисних копалин у Європейському Союзі.

Класифікація встановлює єдині для Державного фонду надр України принципи підрахунку, геолого-економічної оцінки, державного обліку та звітності про використання запасів і ресурсів корисних копалин згідно з рівнем їх економічного та промислового

значення (вісь E), ступенем техніко-економічної вивченості і підготовленості покладів корисних копалин до подальшого використання (вісь F), а також ступенем геологічної вивченості і достовірності (вісь G) відповідно до категорій РКООН (рис. 1).

За період реалізації поетапної гармонізації Класифікації України з РКООН було розглянуто та поставлено на баланс запаси та ресурси понад 400 родовищ вуглеводнів.

Система управління вуглеводневими ресурсами (PRMS) Товариства інженерів-нафтовиків (Society of Petroleum Engineers, SPE) – міжнародний стандарт оцінки та управління запасами вуглеводнів у надрах. SPE-PRMS оцінює ймовірність наявності вуглеводневих ресурсів та економічну ефективність вилучення запасів з урахуванням можливості сучасних технологій та екологічних норм, податків та актуальних цін на вуглеводні, витрат на розвідку, буріння, транспортування тощо.

PRMS – це двовимірна система (рис. 2), в якій технічно видобувні ресурси (TRR – Technically Recoverable Resources) підлягають класифікації та категоризації [2]. Під TRR розуміється агрегований прогноз накопичених обсягів вуглеводнів, які можуть бути видобуті при застосуванні наявних в даний час технологій та галузевих практик, незалежно від комерційних аспектів, при реалізації конкретного проєкту або групи проєктів.

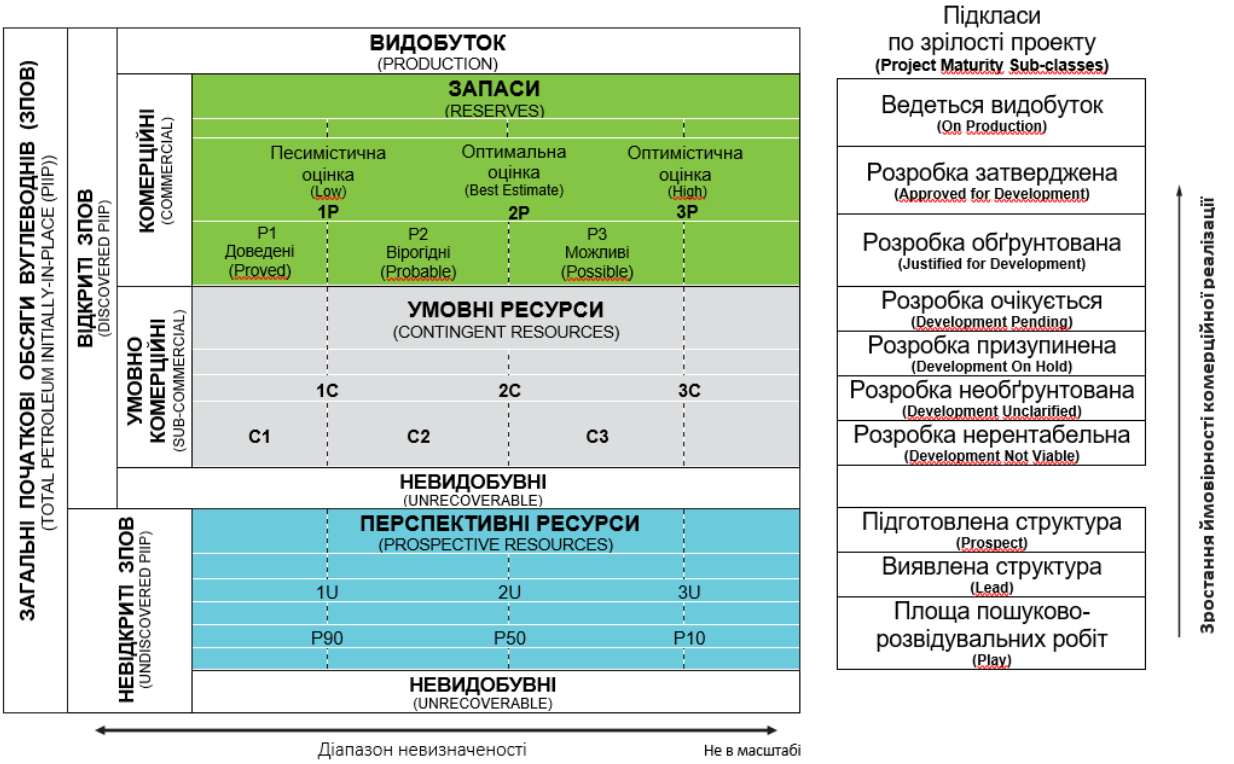


Рис. 2. Схема Класифікаційної системи PRMS з розподілом на підкласи по зрілості проєктів [2]

Якщо коротко описати схему, то вертикальна вісь показує комерційну зрілість проєкту розробки (ймовірність комерціалізації зростає), а горизонтальна вісь відображає діапазон невизначеності [2, 3].

Класи вуглеводневих ресурсів, які враховують комерційний ризик, включають *Перспективні ресурси*, *Умовні ресурси* і *Запаси*. *Перспективні ресурси* не виявлені, в той час як *Умовні ресурси*, хоча і виявлені, не задовольняють іншими критеріями комерційної придатності [2] для кваліфікації TRR проєкту як запасів. Відповідно, Запаси – це TRR комерційних проєктів.

Діапазон невизначеності (горизонтальна вісь) в першу чергу розуміється як демонстрація прогнозу обсягів видобутку, заснованого на сценаріях, тобто TRR з мінімальною (песимістичною), оптимальною та максимальною (оптимістичною) оцінками (Low Estimate – LE, Best Estimate – BE, High Estimate – HE), де невизначеність TRR пояснюється невизначеністю параметрів оцінки кількості вуглеводнів. У резервному класі

символи для LE, BE і HE - 1P (доведені), 2P (доведені та вірогідні) і 3P (доведені, вірогідні та можливі) відповідно. Це базові категорії ресурсів. Що стосується *Умовних* і *Перспективних ресурсів* – це 1C, 2C, 3C і 1U, 2U, 3U. Методологія безумовно життєздатна, оскільки ми можемо визначити різні сценарії (тобто песимістичні, оптимальні та оптимістичні) для майбутнього прогнозу обсягів видобутку для свердловин (існуючих або проєктних) в проєкті, де BE – це оптимальна (реалістична) оцінка, в той час як LE і HE відображають відповідно песимістичну та оптимістичну оцінки. Однак для свердловин родовищ на завершальному етапі розробки, з відповідним прогнозом обсягів видобутку може трапитися так, що діапазон невизначеності буде незначним. У цьому випадку немає різниці в сценаріях LE, BE, HE для TRR, що означає, що запаси 1P, 2P і 3P є рівними.

Ступінь впевненості (достовірності) – це ще один критерій класифікації, який розглядається в PRMS для вуглеводневих ресурсів, коли оцінювачі застосовують детермінований метод для категоризації TRR. Методикою передбачено фізичний поділ обсягів вуглеводнів на сегменти з «високим», «помірним» і «низьким» ступенем достовірності, що відображають переконання оцінювача щодо можливості вилучення. Фізичний розподіл може розглядатися як для об'єму пастки, так і для загального об'єму породи, або для обох значень разом. Що стосується *Запасів за комерційними проєктами*, то виділяють наступні відповідні категорії високого, помірного та низького ступеня достовірності: Доведені (P1), Вірогідні (P2) і Можливі (P3). На основі тієї ж логіки для некомерційних *Умовних ресурсів* застосовуються категорії C1, C2 і C3.

Доведені запаси – це такий обсяг ВВ, який на підставі аналізу геологічних та інженерних даних можна з обґрунтованою впевненістю оцінити як комерційно видобувні з відомих покладів при певних технічних і комерційних умовах [4]. Вилучення запасів, що класифікуються згідно PRMS (SEC і SPE), за визначенням повинно бути рентабельним і мати визначений високий ступінь ймовірності та прийнятих виробничих зобов'язань. Саме тому кількість запасів, підрахованих за національною класифікацією за сумою балансових категорій майже завжди буде більшою за кількість доведених запасів, підрахованих за класифікацією PRMS (SEC і SPE).

Ця обставина є однією з причин того, чому інвестори застосовують методи SEC (U.S. Securities and Exchange Commission – Комісія з цінних паперів та фондових бірж США) і SPE для оцінки компаній – ці методи більш консервативні і дають вищу гарантію того, що ймовірний приріст вартості буде зумовлений не тільки видобутком, але й усією виробничою діяльністю. Іншою вагомою обставиною є те, що більшість світових інвестиційних банків як базові критерії при виділенні фінансових коштів використовують оцінку SEC.

Відмінність систем SEC і SPE полягає в тому, що запаси, підраховані за методикою SEC завжди будуть меншими, ніж запаси, підраховані за методикою SPE. Відмінність між ними полягає в різній категоризації *Нерозбурених запасів*, врахуванні строку дії спеціального дозволу на користування надрами та можливості його продовження, обґрунтуванні майбутніх цін вуглеводнів та ще низки факторів.

Класифікаційна система оцінки запасів та ресурсів вуглеводнів, що застосовується, повинна враховувати складний комплекс юридично-правових, геолого-економічних, соціально-політичних та екологічних чинників.

Варто відзначити, що багато, як приватних нафтогазових підприємств, так і державних підприємств здійснюють оцінку запасів за Класифікаційною системою PRMS (АТ «Укргазвидобування» з 2005 року, а НАК «Нафтогаз України» з 2015 року) [3].

До того ж відповідно до статті 45 Кодексу України "Про надра" [5] під час здійснення державної експертизи та оцінки ресурсів та запасів корисних копалин за заявою користувача надрами можуть використовуватися в тому числі інші міжнародні стандарти.

Висновки. Гармонізація Національної класифікації України з міжнародними класифікаційними системами РКООН, PRMS та іншими, є та буде актуальним і важливим питанням. Тим паче що перспективи розвитку та вдосконалення класифікаційної системи

РКООН, які неодноразово висвітлювалися в доповідях під час "RESOURCE MANAGEMENT WEEK 2026" – "Тиждень управління ресурсами" (проводився в Палаці Націй у Женеві (Швейцарія) з 27 квітня до 01 травня 2026 року), пов'язуються з її подальшою гармонізацією з іншими міжнародними класифікаційними системами такими як PRMS, CRIRSCO та інші.

Тенденції зближення різних класифікаційних систем для оцінки запасів вуглеводнів показують, що в близькій чи довгостроковій перспективі буде продовжуватися інтеграція систем Класифікації – аж до формування єдиної універсальної системи.

Список використаних джерел:

1. Постанова Кабінету Міністрів України від 05.05.1997 № 432 "Про затвердження Класифікації запасів і ресурсів корисних копалин державного фонду надр" [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/432-97-%D0%BF#Text.

2. Petroleum Resources Management System (PRMS) : Version 1.03 / Society of Petroleum Engineers (SPE), World Petroleum Council (WPC), American Association of Petroleum Geologists (AAPG) [et al.]. — Revised ; Single user license. — Richardson, Texas : SPE, 2018. — 59 p. — URL: https://www.spe.org/media/filer_public/0c/83/0c835db9-501f-4ce7-97f1-a1d6bb4e3331/prmgmtsystem_v103.pdf.

3. Михайлів І.Р., Гетьман О.В., Воловецький В.Б., Стиславська А.М. Система управління ресурсами вуглеводнів PRMS: категорія "Умовні ресурси" – критерії виділення та шляхи переведення у категорію "запаси" // Мінеральні ресурси України. – 2026. – № 1. С. 66-72. URL: https://mru-journal.com.ua/index.php/mru/article/view/478.

4. Методичні рекомендації щодо застосування класифікації запасів та ресурсів нафти і газу за системою управління вуглеводневими ресурсами (Petroleum Resources Management System – PRMS) // Затв. наказом ДКЗ від 26.02.2021 № 79. URL: https://dkz.gov.ua/ua/diyalnist/normativno-pravova-baza (дата звернення: 30.09.2026).

5. Про надра : Кодекс України від 27.07.1994 № 132/94-ВР. Стаття 45. Державна експертиза та оцінка ресурсів і запасів корисних копалин. Редакція від 17.01.2025. База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/132/94-вр (дата звернення: 30.09.2026).

References:

Cabinet of Ministers of Ukraine. (1997, May 5). *On the approval of the classification of mineral reserves and resources of the State Subsoil Fund* (Resolution No. 432) [in Ukrainian]. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/432-97-%D0%BF#Text.

Mykhailiv, I. R., Hetman, O. V., Volovetskyi, V. B., & Styslavska, A. M. (2026). The PRMS hydrocarbon resource management system: category Contingent Resources – criteria for allocation and conversion methods to the Reserves category [in Ukrainian]. *Mineral Resources of Ukraine*, (1), 66–72. URL: https://mru-journal.com.ua/index.php/mru/article/view/478.

Society of Petroleum Engineers, World Petroleum Council, American Association of Petroleum Geologists, Society of Petroleum Evaluation Engineers, Society of Exploration Geophysicists, European Association of Geoscientists & Engineers, & Society of Petrophysicists and Well Log Analysts. (2018). *Petroleum resources management system* (Version 1.03). Society of Petroleum Engineers. https://www.spe.org/media/filer_public/0c/83/0c835db9-501f-4ce7-97f1-a1d6bb4e3331/prmgmtsystem_v103.pdf.

State Commission of Ukraine on Mineral Resources. (2021, February 26). *Methodological recommendations for the application of the classification of oil and gas reserves and resources according to the hydrocarbon resource management system (Petroleum Resources Management System – PRMS)* (Order No. 79) [in Ukrainian]. https://dkz.gov.ua/ua/diyalnist/normativno-pravova-baza

Verkhovna Rada of Ukraine. (1994, July 27). *Code of Ukraine on Subsoil* (No. 132/94-VR, Article 45: State Expert Appraisal and Assessment of Mineral Resources and Reserves) [in Ukrainian]. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/132/94-вр

ЕНЕРГЕТИЧНА НЕЗАЛЕЖНІСТЬ УКРАЇНИ. НАРОЩУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ДЕРЖАВИ



УДК 911.9:553.96

ПОКЛАДИ БУРОГО ВУГІЛЛЯ В ЗАХІДНОМУ РЕГІОНІ УКРАЇНИ: ІСТОРІЯ, СУЧАСНИЙ СТАН І ПЕРСПЕКТИВИ ВИДОБУВАННЯ

***Іванов Є.А.**, д. геог. н., професор, yevhen.ivanov@lnu.edu.ua,*
Львівський національний університет імені Івана Франка, м. Львів, Україна

Поклади бурого вугілля в межах Західного регіону України відомі давно, їх у XIX–XX ст. розробляли в трьох гірничопромислових площах: Північно-Подільській (Придністровській), Прикарпатській та Закарпатській. Ці площі простягаються з північного заходу на південний схід смугами шириною до 30 км і приурочені до неогенових відкладів. Вугільні поклади залягають на незначних глибинах – від декількох до 30 м, іноді до 220 м. Налічується від трьох до десяти вугільних пластів і прошарків потужністю від 0,1 до 1-2 м, рідко до 10 м. Буре вугілля у регіоні видобували на десятках невеликих вугільних шахт і штолень, більшість з яких ліквідовано ще у 1950–1960-их роках. Нині кар'єрним способом продовжують розробляти поклади Ільницького родовища. Розвідані і залишкові запаси бурого вугілля в Західному регіоні України є незначними і становлять 60 млн т вугілля, однак остаточні дані про паливно-енергетичні ресурси відсутні. Існує потреба у перегляді можливостей використання запасів лігніту як енергетичного палива чи хімічної сировини.

BROWN COAL DEPOSITS IN THE WESTERN REGION OF UKRAINE: HISTORY, CURRENT STATUS AND MINING PROSPECTS

***Ivanov Ye.**, Dr. Sci. (Geogr.), Prof., yevhen.ivanov@lnu.edu.ua,*
Ivan Franko National University of Lviv, Lviv, Ukraine

Brown coal deposits in the Western region of Ukraine have been known for a long time; in the 19th–20th centuries, they were developed in three mining areas: North-Podil (Transnistrian), Precarpathian and Transcarpathian. These areas extend from the northwest to the southeast in strips up to 30 km wide and are confined to Neogene deposits. Coal deposits have been explored at shallow depths – from several to 30 m, sometimes up to 220 m. There are from three to ten coal seams and layers with a thickness of 0.1 to 1–2 m, sometimes up to 10 m. Brown coal in the region was mined in dozens of small coal mines and galleries, most of which were liquidated in the 1950s–1960s. Currently, the Ilnytskyi deposit deposits continue to be developed by opencast mining. The explored and remaining reserves of brown coal in the Western region of Ukraine are insignificant and amount to 60 million tons of coal, however, final data on fuel and energy resources are missing. There is a need to review the possibilities of using lignite reserves as energy fuel or chemical raw materials.

Вступ. В межах Західного регіону України вже понад 70 років розробляють поклади кам'яного вугілля Львівсько-Волинського басейну. У 1980-их рр. шахти басейну щороку видобували 15–16 млн т кам'яного вугілля. На сьогодні з 23 побудованих залишилося лише 8 вугільних підприємств, які видають на-гора лише 1,2–1,5 млн т переважно низькоякісного вугілля. Видобуток кам'яного вугілля у Львівсько-Волинському басейні істотно відстає від потреб енергетики Західного регіону України [15]. Ще складнішою є ситуація із постачанням вугілля для потреб промислових і комунально-побутових котелень та населення. Суттєве подорожчання природного газу призведе до переведення споживачів на твердопаливні котли та зростання використання бурого вугілля, торфу і дров. Тож, чи не прийшов час розглянути питання історії, сучасного стану й перспектив видобування бурого вугілля у Західному регіоні України?

Буре вугілля (лігніт) є вугіллям з низьким ступенем вуглефікації, що частково зберігає анатомічну структуру рослинної речовини, з якої воно утворилося, з теплотою згоряння до 5 700 ккал/кг (24–31 МДж/кг) [2]. Це тверда горюча корисна копалина, найпростіше викопне вугілля, ймовірно – перехідна форма від торфу до кам'яного вугілля. Копалина має широку колірну гаму (від світло-бурого до чорного), малу твердість та значну гігроскопічністю. Розрізняють м'яке буре вугілля (власне лігніт) з вмістом вуглецю в органічній речовині 63–71 % і вологістю 40–60 % та щільне буре вугілля з вмістом вологи 17–40 % [1].

Загалом, в Україні зосереджено значні запаси бурого вугілля. Основну частину покладів зосереджено у Дніпровському буровугільному басейні, значно менше покладів виявлено у Дніпровсько-Донецькій западині, а також Придністровській, Прикарпатській і

Закарпатській вугленосних площах (районах). На сьогодні розробляються поклади Дніпровського басейну та Закарпатської вугленосної площі. В Україні налічується 80 родовищ бурого вугілля, з яких у розробленні перебувають лише три родовища. Балансові запаси станом на січень 2021 р. оцінюють в 2 593 млн т за категорією $A+B+C_1$ та 300 млн т за категорією C_2. Позабалансові запаси бурого вугілля в Україні оцінюють у 586 млн т [3].

Історія видобування бурого вугілля. Буровугільні поклади в межах Західного регіону України відомі давно, їх у XIX–XX ст. розробляли в трьох гірничопромислових площах (районах): Північно-Подільській (Придністровській), Прикарпатській та Закарпатській.

Північно-Подільська (Придністровська) вугленосна площа. Північно-Подільська площа розташована в межах Львівської та Тернопільської областей, у вигляді вузької субширотної смуги завширшки від 7 до 30 км і довжиною 180 км від м. Рава-Руська Львівської області до м. Шумське Тернопільської області [3]. Вугленосні товщі мають потужність до 30–50 м та приурочено до неогенових відкладів (нижньотортонських покладів міоцену). Вони залягають на глибині від 50 до 60 м [9]. Ці товщі складені головно сірими та темно-сірими кварцитами, пісками з прошарками глин, з якими пов'язані поклади бурого вугілля (від одного до трьох пластів). Пласти за будовою складні, товщина невитримана, часто мають форму невеликих лінз площею від 0,1 до 2,5 км^2. Щодо якості, то вугілля неоднорідне з переважанням лігнітів і бурого вугілля низького ступеня вуглефікації (марки Б1–2) [7]. Потужність пластів становить від 0,5 до 1,5 м, іноді сягає 3,0 м. Вугілля має велику зольність (10–50 %) та сірчаність (2–10 %), вихід летких речовин – 30–60 %, вміст вуглецю – 53–70 % [3].

Продуктивні поклади бурого вугілля в межах площі приурочені до зони контакту височинних і низовинних місцевостей – Розточчя з Малим Поліссям (Жовква, Скварява, Глинське, Дубрівка, Потелич та ін.) та Подільської височини з Малим Поліссям (Вороняки, Підгірці, Ясенів, Почаїв, Кременець, Шумське тощо). Розвідані запаси лігніту становлять близько 9,1 млн т [8]. В межах цієї вугільної площі відомо десять буровугільних родовищ: Рава-Руське, Магерівське, Нестерівське (Жовківське), Золочівське, Ясенівське, Куличівське, Почаївське, Ридомиль-Дзвиняцьке, Шумське та Майдан-Антонівецьке. Більшість родовищ розвідали ще в 60-их роках XIX ст. Поклади низькоякісного вугілля, теплотворність якого не перевищувала 4 000–4 500 ккал/кг, у багатьох місцях знаходили неглибоко (до 20 м), а інколи вони навіть виходили на земну поверхню. Поклади лігніту мали зазвичай лінзовидну форму і невеликі розміри. Площі покладів у межах цих родовищ не перевищували 2,5–3,0 км^2. Ці пласти переважно мають товщину 0,5–1,5 м й зрідка сягають двох і більше метрів [14]. Це дало змогу розробляти лігніт у невеликих кар'єрах (копанках), відслоненнях і неглибоких похилих копальнях. Згідно з архівними даними, тоді видобували лише до 3,6 тис. ц вугілля [9].

Ще в середині XIX ст., за 40 років до «нафтового буму» у Бориславі, на стику Розточчя і Малого Полісся, сформувався перший паливно-енергетичний район у регіоні, на базі бурого вугілля Потелича, Дубрівки, Глинсько, Нової Скваряви, Мокротина і Полян [12]. Видобуток на окремих копальнях проводили до 1957 р., тому їхні залишки можна спостерігати й сьогодні.

Видобуток бурого вугілля підприємствами Галичини зростав рівномірно. Зокрема, у 1880-их рр. вони видобували в середньому 561,6 тис. ц, у 1890-их роках – 371,0 тис. ц, а на початку XX ст. – 688,5 тис. ц. У подальші роки обсяги видобування бурого вугілля стали різко зменшуватися, і в 1910 р. становили лише 358,6 тис. ц [19]. Це сталося через неконкурентність місцевого лігніту з дешевшим кам'яним вугіллям Сілезії чи місцевим деревним паливом, а відповідно, відсутністю збуту продукції. Тому більшість шахт було закрито. Перед Першою світовою війною буре вугілля розпочали знову видобувати у районі Жовкви і Магерова [8].

Після завершення Другої світової війни (у 1946 р.) видобування бурого вугілля у відновили у численних малих похилих копальнях-штольнях. Незважаючи на малу потужність буровугільних пластів, зруйновані війною поселення і підприємства потребували дешевого місцевого палива. Невеликі буровугільні шахти запрацювали в Жовкві, Дубрівці, Ясенові, Новоселищі та низці інших сіл. У регіоні налічували понад десять таких копалень [7]. До 1949 р. основний обсяг робіт на шахтах виконували вручну, їхня продуктивність залишалася невисокою – до 4–5 тис. т/рік. Буре вугілля переважно використовували для потреб місцевих підприємств і населення. Після механізації виробництва річний обсяг видобування лігніту у регіоні зріс до 250 тис. т [4]. Однак копальні у 1958 р. були закриті у зв'язку з початком розроблення покладів Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну. Буровугільні шахти не витримали конкуренції і були ліквідовані через збитковість. Львівській області відновили у численних малих похилих копальнях. Незважаючи на малу потужність буровугільних пластів, зруйновані війною поселення і підприємства потребували дешевого місцевого палива. Невеликі буровугільні шахти запрацювали в Жовкві, Дубрівці, Ясенові, Новоселищі та низці інших сіл Жовківського, Бродівського і Золочівського районів.

Прикарпатська вугленосна площа. Прикарпатська площа простягається з північного заходу на південний схід смугою шириною 15–30 км і довжиною 130 км від м. Калуш Івано-Франківської області до м. Сторожинець Чернівецької області. Родовища бурого вугілля приурочені до відкладів верхнього тортону зовнішньої зони передового прогину Карпат. Осади верхнього тортону представлені покутською світою, яка поділяється на три горизонти: нижньопокутський, пістинський і верхньопокутський загальною потужністю до 1 400 м. Вугленосним у межах площі є пістинський горизонт, представлений чергуванням щільних і піщаних глин з пісками і пісковиками. Загальна потужність цього горизонту становить 290–320 м. В його середній частині, що збагачена піщаним матеріалом й виділено буровугільні пласти [3].

Вугленосні товщі представлені трьома пластами потужністю 0,5 м і більше, що розділені безвугільними інтервалами потужністю від 10 до 42 м. Вугілля щільне, міцне, чорного кольору із зольністю у 10–20 %, виходом летючих речовин у 43–61 % і сірчаністю у 2,0–6,5 % [4]. Для вугілля властива підвищена теплота згорання (20,5–33,5 МДж/кг), що належить до перехідного від бурого до довгополуменевого типу. Ці відклади і пов'язані з ними родовища і прояви вугілля розповсюджені у двох районах: Покутському (Коломийське, Тростянецьке, Новоселиця-Джурівське та інші родовища бурого вугілля, які розробляли) та Івано-Франківському, де родовища ніколи не мали промислового значення. У 1894 р. простір шахт займав уже 234 га [11]. У 1950–1960-ті рр. у зв'язку з нерентабельністю розроблення родовищ припинили. Зараз практичний інтерес представляє лише Коломийське родовище, прогнозні ресурси якого оцінюють у 7 млн т [16].

Приблизно 14–12 млн р. тому, в епоху середнього міоцену, Передкарпаття мало інший вигляд [3]. Тут знаходилося тепле Сарматське море, яке внаслідок піднімання території відступало та залишало мілководні лагуни. З невисоких молодих Карпатських гір, що були у 20–30 км південно-західніше, у лагуни стікали численні ріки та створювали алювіальні конуси виносу. На них виникали заплавні ліси і болота, що за сотні тисяч років утворили потужні пласти торфу, що під тиском покриваючих відкладів перетворилися на буре вугілля. Викопне вугілля сформовано із залишків рослинності при активній участі мікроорганізмів. Через систематичні коливання земної поверхні, такі природні умови виникали й зникали декілька разів. Це призвело до утворення окремих пластів бурого вугілля, що залягають на різній глибині [6].

Видобування бурого вугілля належить до «старих» галузей промисловості, що виникла за часів Австро-Угорщини. На Передкарпатті видобуток бурого розпочали ще у XVIII ст. Найбільші буровугільні родовища розробляли на території сучасного Коломийського району Івано-Франківської області, у районі сіл Ковалівка, Джурів і

Новоселиця. На підприємствах панувала ручна праця із видобуванням вугілля обушком. Найголовнішою проблемою цих шахт стали підземні води, які періодично їх затоплювали. Особливо заливало глибинні ділянки штолень, що перебували нижче лінії водоносного горизонту. Водночас ці ділянки давали більшість видобутого бурого вугілля.

Ковалівка – село, в 14 км від Коломиї. У 1867–1963 рр. тут діяло декілька вугільних шахт глибиною до 30 м. Перші чотири штольні відкрив підприємець Станіслав Шепановський. Вже наприкінці XIX ст. старі копальні законсервовано через вичерпання верхнього пласту бурого вугілля. Тоді ж розпочала роботу нова вертикальна шахта глибиною 75 м, у якій за перші 12 років роботи видобули 250 тис. т вугілля [11]. Ковалівське вугілля не витримало конкуренції з Сілезьким вугільним басейном і у 1924 р. видобуток припинили, однак відновили у 1940-х роках. Вже під час Другої світової війни ковалівські шахти стають головними постачальниками палива для місцевої промисловості, а у 1947 р. збудовано електростанцію та приміщення для шахтоуправління, яке переїхало сюди з Коломиї. Складні геологічні умови, у тім числі надто тонкі пласти вугілля і значна кількість шахтних вод, а також брак кріпильного матеріалу завдавали клопоти гірникам. З 1960 р. видобування проводили лише у лавах, де застосовували врубові машини та металеві кріплення, що збільшило видобування у понад п’ять разів. Коли на Передкарпатті збільшився видобуток газу, який став головним паливом для промисловості регіону, розроблення малопотужних пластів бурого вугілля втратила значення і в 1968 р. ковалівські шахти закрили [6].

Джурів – село у 20 км від Снятина. У 1863 р. в копальні видобуто близько 10 тис. т бурого вугілля. Докладно відомо про австрійські шахти «Зігмунд», «Леопольд» і «Гелєна», про польську шахту «Кальор» (з глибиною понад 30 м) та про шахти радянського періоду. Через невисоку калорійність та нерентабельності видобутку у 1960-их рр. розроблення вугілля у районі припинили. Буре вугілля знаходили головно на невеликих глибинах 7–30 м, хоча відомо й залягання на глибинах 50–100 м, а потужність пластів становить 0,1–0,5 м. Видобуток здійснювали шахтним методом і нині вони втрачені. На сьогодні відомі лише дві похилі штольні, які збереглися у щільних пісковиках.

Новоселиця – село, в 17 км від Косова. Значні поклади бурого вугілля мають виходи на земну поверхню та переважають у верхніх шарах геологічних відкладів неподалік села. Відслонення вугілля розміщені на лівому березі р. Рибниці і мають у довжину 9 м. Воно складається з товщі жовтого дрібнозернистого піску, серед якого є шар вугілля потужністю 10–20 см. Це вугілля молодшого віку, ніж те, що видобували в інших шахтах Передкарпаття, воно листувате, крихке, блискуче, чорне з бурим відливом. Верстви вугілля залягають горизонтально над товщею пісків свідчить про те, що вони були дном водойм, в яких нагромаджено відмерлу рослинність, що перетворилася у вугілля. Вище вугілля залягають темно-сірі глейові відклади і дернові ґрунти. Контакти верств чіткі, отже можливе випадання окремих стратиграфічних горизонтів [6]. Наприкінці 1940-их років шахти у Джурові і Новоселиці закрили, а шахтарів перевели в ще діючі копальні Ковалівки.

Закарпатська вугленосна площа. Закарпатська площа розташована в межах Закарпатської області у вигляді смуги шириною 18–34 км [13]. Поклади бурого вугілля приурочені до неогенової моласи, і поширені на периферії Вигорлат-Гутинського вулканічного пасма. До цього пасма відносять Лохівське, Ужгородське, Березинське та Малобіганське родовища. Продуктивними є також відклади ільницької світи. Більшість родовищ знаходиться в межах Чоп-Мукачівської частини прогину, де виділяють Великораковецьке, Ільницьке, Кривське, Ракошівське і Новоселицьке родовища. У свою чергу, в Солотвинській (Верхньотисинській) частині прогину виділяють родовища Малий Шаян та Гедеш-Гедь.

Вугільні пласти залягають серед відкладів сарматського, панонського та понтичного ярусів неогену на глибинах від 18 до 220 м [13]. Поклади бурого вугілля пов’язані з

озерно-лагунними відкладами верхньоміоценового віку (нижня товща) та вулканогенно-осадовими відкладами верхньопліоценового віку (верхня товща). Найвугленоснішою є ільницька світа, яка представлена чергуванням глин, пісків, алевролітів, пісковиків, туфів і туфобрекчій. В цій світі міститься до десяти прошарків і пластів гумусового вугілля потужністю від кількох сантиметрів до 1–2 м, інколи до 10 м. Вугілля забруднене туфогенним матеріалом, вологість становить 15–35 %, зольність – 10–40 %, сірчаність – 1,5–5,8 %, а теплотвірна здатність – 6,6–25,1 МДж/кг [3].

Дослідження Закарпатської площі розпочато у 1901 р., а планомірне систематичне вивчення після Другої світової війни, у 1945 р. Перше вугілля тут видобуто ще на початку 1920-их рр. На Закарпатській вугленосній площі розвідано десять родовищ та 26 вуглепроявів бурого вугілля. Вугілля низькометаморфізоване (лігніти) промислової марки Б1 та вугілля промислової марки Б2. Сумарний запас вугілля родовищ становив 30 млн т. До 1971 р. шахтним способом розробляли Ужгородське, Березинське, Кривське та Горбське родовища, пізніше у вугільних шахтах продовжували розробляти Ільницьке родовище.

Ільниця – село, в 6 км від Іршави. Розробку родовища у штольнях розпочато у 1920-их рр., за часів Чехословаччини. Площа Ільницького шахтного поля складає 5,0 км^2, розміри за падінням пластів біля 2,5 км, за простяганням до 2,0 км. В 1949 р. затверджено запаси вугілля в кількості 32,2 млн т, а в 1957 р. закладено першу шахту проєктною потужністю 160 тис. т/рік. В перші роки розробляли верхній пласт середньою потужністю 1,45 м. Через складні гірничі і гідрогеологічні умови розроблення пластів потужність шахти знижено до 80 тис. т/рік. З часом такі умови не дозволили використовувати вугледобувну техніку та з 1995 р. підземний видобуток вугілля став нерентабельним і копальню ліквідовано. Запаси вугілля в кількості 27,8 млн т віднесені до групи резервних. В 1970 р. паралельно почато видобування лігніту кар'єрним способом, яке продовжується й сьогодні. Аналіз розміщення резервних запасів вказує на можливості розроблення частини запасів ще одним кар'єром на ділянці «Кремінна» [17].

Сучасний стан місцевостей. У 1950-их рр. ландшафтно-екологічна ситуація довкола діючих буровугільних копалень і штолень була відносно складною: розвивалися процеси просідання земної поверхні, підтоплення та заболочення окремих території, зсувні, ерозійні й суфозійні процеси, у відвалах накопичувалися незначні обсяги гірничопромислових відходів, забруднювалися ґрунти, підземні і поверхневі води тощо [18]. Однак трансформаційні зміни мали дисперсний характер та сьогодні відчутних слідів перетворення природно-господарських систем практично не залишилося.

На місцях колишніх буровугільних копалень зберіглися невеликі відвали площею до 1,0–1,5 га і висотою до 10–15 м [12]. Більшість з них зруйновані формами лінійної ерозії та утворили довкола широкі шлейфи відвальних відкладів (рис. 1а). Площі, що зайняті такими шлейфами не менші за площі власне відвалів. На сьогодні ці відвали практично не вкриті рослинністю, що зумовлено високою токсичністю відходів видобування бурого вугілля. Слідів стволів і штолень у регіоні фактично не залишилося, хоча місце розміщення стволів «читається» за нахиленням відвалів у їхньому напрямку. У процесі пошуку копалень, за характерними ознаками їх вдавалося дешифрувати за допомогою космознімків *Google Earth Pro* (рис. 1б).



а) б)



в) г)

Рис. 1. Відвали Північно-Подільської і Прикарпатської вугленосних площ: а) розвиток лінійної ерозії; б) відвал (1) і визначене за напрямом нахилу поверхонь відвалу місце копальні (2); в) частково зарослий відвал, який збережений у лісовому масиві; г) розбирання відвалу для потреб підсипання доріг і будівництва

У кращому стані збереглися відвали буровугільних шахт, що розміщені у лісових масивах (рис. 1в). Ерозійні процеси тут мають меншу інтенсивність, а відвали вже повність чи частково заросли деревно-чагарниковою та трав'яною рослинністю [7]. Залежно від природних умов, у відвалах змінюється й колір гірської породи. На відміну від відвалів на відкритій місцевості, де колір гірської породи сіро- і буро-жовтий, у відвалах у лісових масивах він є темно-сірим чи темно-бурим. Близько 5–8 % від загальної маси відвалів припадає на дерев'яні предмети – різні шахтні кріплення, затяжки, шпали тощо [12]. Під час дослідження суміші газу з терикону закритої шахти встановлено ненасичені вуглеводні та водень, що вказує на тривалий вплив газів на атмосферне повітря навіть після тривалого припинення вугледобувних робіт [5]. В останні роки частіше спостерігається розбирання відвалів для потреб підсипання доріг і будівництва (рис. 1г). Чимало відвалів повністю розібрано, що ускладнює пошук місць розміщення буровугільних копалень.

Нині кар'єрним способом продовжують розробляти поклади Ільницького родовища. Тут діє кар'єр (розріз) глибиною до 10 м. Породами його розкриву є глинисто-галечникові відклади нижньочетвертинного віку потужністю 5–7 м, а пласт бурого вугілля пліоценового віку має потужність до 2 м (рис. 2а). Родовище має запаси понад 1 млн т. Обсяги видобування лігніту становлять 10 тис. т на рік, а орієнтовних промислових запасів вистачить до 2110 р. Вугільні пласти родовища складені матовим, напівматовим і

напівблискучим гумусовим вугіллям темно-коричневого, чорного кольорів, іноді світло-коричневого. Вугілля штрихувате, із шаруватою текстурою, переважно ущільнене. У вугільних пластах присутні включення деревини різного стану збереження та розміру від 10 до 60 см у довжину за відповідної ширини 2–30 см (рис. 2б) [5].



а) б)

Рис. 2. Ільницьке родовище бурого вугілля [5]: а) контакт вугільного пласта з покрівлею; б) включення деревини з добре збереженою деревною структурою

Варто звернути увагу на обводнення вугільних пластів Ільницького кар'єру, під час розроблення воду з кар'єру відводять до місцевих водотоків. Це призводить до зміни хімічних показників поверхневих вод, збільшення осаду, що негативно впливає на живі організми у водотоках. Водночас, після вилучення вугілля вуглеводневі гази, які до цього поглиналися, мігрують в атмосферне повітря та насичують води кар'єру. Окрім того, за відпрацювання вугілля в повітря потрапляють додаткові частки азоту та діоксиду вуглецю. Загалом, на ділянках розробки вугілля, газ ще тривалий час потраплятиме в атмосферне повітря, що негативно впливатиме на стан природного середовища [5].

Перспективи видобування бурого вугілля. На сьогодні розвідані і залишкові запаси бурого вугілля в Західному регіоні України є незначними і становлять лише 60 млн т вугілля. Однак остаточних даних про паливно-енергетичні ресурси немає тому, що досі ґрунтовно не досліджено значні ділянки вугленосних районів [3]. Чи існують у регіоні перспективи розроблення буровугільних покладів? Важко дати однозначну відповідь.

Зрозуміло, що нині вони виглядають примарними через те, що буре вугілля на відміну від торфу належить до корисних копалин загальнодержавного значення. Тому правом на видобування лігніту володіє держава, яка не заінтересована в його розробленні. Водночас, існують територіальні громади, які ймовірно зацікавить розроблення буровугільних покладів і здатні вирішити це питання на місцевому рівні, але не зможуть, доки ці поклади не переведуть до корисних копалин місцевого значення. Ця ситуація нагадує проблеми видобування бурштину, коли держава не здатна розробляти його поклади, а невеликим підприємствам та артілям – на законних підставах не дозволяє. За відсутності нормативно-правової бази старателі здійснюють нелегальне розроблення бурштинових покладів, а вірогідно у майбутньому зацікавляться й бурим вугіллям.

Дефіцит потужності енергоджерел для самозабезпечення Західного регіону України, що посилила російсько-українська війна, диктує потребу переглянути можливість використання значних запасів лігніту як енергетичного палива. Головною проблемою буровугільних родовищ у тому, що після зупинки видобутку не проводили відкачування води, а оскільки шахтні виробки обводнюються, то копальні давно затопило. Щоб їх відкачати, необхідно півтора-два роки та значні інвестиції [15]. Окрім цього, потрібні кошти на відновлення інфраструктури підприємств, під'їзних шляхів, електроліній, інших комунікацій, а також на підбір спеціалістів.

Відновлення родовищ бурого вугілля в Західному регіоні України здатне вирішити нагальні питання енергозабезпечення містечок і сіл й стати альтернативою для

використання дров. Приповерхневе залягання вугілля свідчить про те, що його видобування можливе дешевшим, зокрема й локальним використанням гідравлічного способу – подання вугілля за допомогою водних потоків під тиском по системі труб на денну поверхню [10]. Видобування бурого вугілля у регіоні не варто вважати збитковим, а для ефективнішого його розроблення та розвитку підприємств необхідно застосувати новітні екологічно ощадливі технології, мати чіткий багаторічний план і достатнє інвестування.

Дефіцит й дорожнеча кам'яного вугілля, вже не кажучи про істотне зростання цін на енергоносії в Україні, підтверджують ідеї щодо відновлення видобування бурого вугілля. Це сприятиме розв'язанню проблем енергетичної безпеки регіону. У складних умовах, коли запасів вугілля для роботи теплових електростанцій недостатньо і відсутні перспективи їх стабільного забезпечення, варто задуматися щодо відновлення роботи буровугільних шахт.

Варто відзначити й появу інтересу до використання новітніх технологій перероблення вугілля (гідрогенезації, піролізу, газифікації тощо). Тому іншими галузями споживання бурого вугілля є його перероблення на горючі гази із подальшим використанням як хімічної сировини, а також отримання реагентів, монтан-воску та гумінових кислот, які застосовують для очищення стічних вод і як стимулятори росту в агрохімії.

Висновки. На основі вищевикладеного матеріалу пропонуємо такі висновки:

1. Поклади бурого вугілля в межах Західного регіону України відомі давно, їх у XIX–XX ст. розробляли в трьох гірничопромислових площах (районах): Північно-Подільській (Придністровській), Прикарпатській та Закарпатській. Ці площі простягаються з північного заходу на південний схід смугами шириною до 30 км, пов'язані із формуванням Карпатських гір і приурочені до неогенових відкладів. Вугільні поклади залягають на незначних глибинах – від декількох до 30 м, іноді до 220 м. Налічується від трьох до десяти основних вугільних пластів і прошарків потужністю від 0,1 до 1–2 м, рідко до 10 м.

2. У різні часові проміжки буре вугілля у регіоні видобували на десятках невеликих вугільних шахт і штолень, більшість з яких ліквідовано ще у 1950–1960-их роках. У 1995 р. на Закарпатті ліквідовано останню шахту «Ільниця». Нині кар'єрним способом продовжують розробляти поклади Ільницького родовища.

3. Розвідані та залишкові запаси бурого вугілля в Західному регіоні України є незначними і становлять 60 млн т вугілля, однак остаточні дані про паливно-енергетичні ресурси відсутні. Існує потреба у перегляді можливостей використання запасів лігніту як енергетичного палива чи хімічної сировини.

Список використаних джерел

1. Білецький В.С. Вугілля буре. *Велика українська енциклопедія*. URL: https://vue.gov.ua/Вугілля_буре

2. Буре вугілля. *Вікіпедія. Вільна енциклопедія.* URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Буре_вугілля

3. Буре вугілля. Генезис та поширення / ТзОВ «Інститут геології». URL: https://insgeo.ua/brown_coal

4. Буре вугілля України: умови залягання та перспективи освоєння : навч. посібн. / А. Ю. Дриженко, О. О. Шустов. Дніпропетровськ : НГУ, 2015. 332 с.

5. Вергельська Н. В. Буровугільні поклади Закарпатської вугленосної площі: екологічні аспекти (на прикладі Ільницького родовища). *Acta Academiae Beregsasiensis: Geographica Et Recreatio*. 2024. № 3. С. 22–29. DOI: https://doi.org/10.32782/2786-5843/2024-3-3

6. Геник Я. В., Заячук В. Я. Сукцесії рослинності на посттехногенних територіях Коломийського буровугільного родовища. *Науковий вісник НЛТУУ*. 2015. Вип. 25.6. С. 119–124.

7. Іванців О. Є. Оцінка ресурсів бурого вугілля Західної України. *Геологія і геохімія горючих копалин.* 1992. № 4(81). С. 55–60.

8. Іванов Є. Геокадастрові дослідження гірничопромислових територій : монографія. Львів : ВЦ ЛНУ ім. І. Франка, 2009. 372 с.

9. Іванов Є. Ландшафти гірничопромислових територій: монографія. Львів: ВЦ ЛНУ ім. І. Франка, 2007. 334 с.

10. Іванов Є. А. Природно-господарські системи гірничопромислових територій Західного регіону України: функціонування, моделювання, оптимізація: автореф. дисер. … д-ра геогр. наук. Київ: ФОП Корпан Б. І., 2017. 40 с.

11. Іванов Є., Антонів Б. Буре вугілля Передкарпаття, його походження, історія і перспективи видобування. *Тенденції та перспективи розвитку науки і освіти в умовах глобалізації* : матер. міжнарод. наук.-практ. інтернет-конф. Переяслав, 2024. Вип. 101. С. 5–8.

12. Іванов Є., Ваньо Б. Видобування бурого вугілля у Львівській області: історія, сучасний стан і перспективи. *Тенденції та перспективи розвитку науки і освіти в умовах глобалізації* : матер. міжнарод. наук.-практ. інтернет-конф. Переяслав-Хмельницький, 2019. Вип. 43. С. 15–18.

13. Кагало О. О. Закарпатський буровугільний район. Енциклопедія Сучасної України / Редкол.: І. М. Дзюба, А. І. Жуковський, М. Г. Железняк [та ін.] ; НАН України, НТШ. Київ : Інститут енциклопедичних досліджень НАН України, 2010. URL: https://esu.com.ua/article-14617

14. Мінеральні ресурси України та світу на 1.01.2004 р. / Ю. І. Третьяков, В. Т. Маковенко, А. Д. Пилипчук та ін. / ДНВП “Геоінформ України”. Київ, 2005. 462 с.

15. Рудько Г. І., Іванов Є. А., Ковальчук І. П. Гірничопромислові геосистеми Західного регіону України: монографія. Київ–Чернівці: Букрек, 2019. Т. 1. 464 с.

16. Сивий М., Паранько І., Іванов Є. Географія мінеральних ресурсів України: монографія. Львів : Простір М, 2013. 684 с.

17. Спеціальний дозвіл на користування надрами № 1672 від 17 листопада 1998 р. Додаток 1. Характеристика ділянки надр / Державна служба геології та надр України. URL: https://www.geo.gov.ua/wp-content/uploads/2020/12/спеціальний-дозвіл-на-користування-надрами-від-17.11.1998-№-1672-22.12.2020.pdf

18. Сухіна О. М. Еколого-економічні аспекти реабілітації територій видобутку бурого вугілля у Кіровоградській області. *Наукові праці Кіровоградського національного технічного університету: Економічні науки.* 2005. Вип. 8. С. 209–218.

19. Rocznik Statystyki Galicji / pod red. S. Pilata. Lwów : Krajowe Biuro Statystyczne, 1913.

УДК 550.834

ПЕРСПЕКТИВИ ЗБІЛЬШЕННЯ РЕСУРСІВ ВУГЛЕВОДНІВ ДНІПРОВСЬКО-ДОНЕЦЬКОЇ ЗАПАДИНИ ЗА РАХУНОК ВИЯВЛЕННЯ ПОКЛАДІВ НЕАНТИКЛІНАЛЬНОГО ТИПУ

Вижва С.А.*[1]*, *д. геол. н., проф., член-кор. НАН України, s.vyzhva@knu.ua;*
Бенько В.М.*[2]*, *к. геол. н., benko.tks@gmail.com;*
Бурдейний Т.О.*[3]*, *office@esco-pivnich.com;* ***Круглик В.М.*[4]*,*** *v.kruglyk@gmail.com,*
1 – Інститут геології Київського національного університету ім. Т. Шевченка, Київ, Україна,
2 – ТОВ «Компанія «Технокомсервіс», Київ, Україна,
3 – ТОВ «Еско-Північ», Київ, Україна,
4 – ТОВ «Геоюніт», Київ, Україна

Наведено результати виявлення покладів вуглеводнів неантиклінального типу на родовищах та ліцензійних площах в межах Дніпровсько-Донецької западини. Для даної території визначено оптимальні підходи до пошуків покладів вуглеводнів з використанням їх сейсмічних індикаторів та AVO – аналізу. Проведена оцінка достовірності технологій прямого виявлення покладів вуглеводнів на прикладі родовищ приосьової зони та північного борту западини. Показано, що технологія прямого виявлення покладів вуглеводнів є корисною також для оцінки ймовірності наявності вуглеводнів у структурних пастках. Окреслено перспективи виявлення неантиклінальних покладів вуглеводнів Дніпровсько-Донецької западини.

PROSPECTS OF INCREASING HYDROCARBON RESOURCES IN THE DNIEPER-DONETSK BASIN USING THE DISCOVERY OF NON-ANTICLINAL TYPE DEPOSITS

Vyzhva S.*[1]*, *Dr. Sci. (Geol.), Prof., corres. member NASU, s.vyzhva@knu.ua;*
Benko V.*[2]*, *Cand. Sci. (Geol.), benko.tks@gmail.com,*
Burdeinyi T.*[3]*, *office@esco-pivnich.com,* ***Kruhlyk V.*[4]*,*** *v.kruglyk@gmail.com,*
1 – Institute of Geology, Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ukraine,
2 – Company Tekhnokomservis LLC, Kyiv, Ukraine,
3 – Esco-Pivnich LLC, Kyiv, Ukraine,
4 – Geounit LLC, Kyiv, Ukraine

The results of the detection of non-anticlinal hydrocarbon deposits in the fields and license areas within the Dnieper-Donetsk Basin are presented. For this territory, optimal approaches to the search for hydrocarbon deposits using their seismic indicators and AVO analysis are determined. The reliability of technologies for direct detection of hydrocarbon deposits is assessed using the example of deposits in the axial zone and the northern side of the basin. It is shown that the technology for direct detection of hydrocarbon deposits is also useful for assessing the probability of the presence of hydrocarbons in structural traps. The prospects for the detection of non-anticlinal hydrocarbon deposits in the Dnieper-Donetsk Basin are outlined.

Вступ. Класичним варіантом пошуків покладів вуглеводнів є використання так званої непрямої технології. Цей підхід базується на побудові структурно-тектонічної моделі та виявленні ймовірних структурних пасток вуглеводнів. На ранніх етапах розвитку сейсмічних досліджень основним об‘єктом пошуків були антиклінальні пастки вуглеводнів. Разом із зменшенням кількості нерозвіданих антикліналей підвищився інтерес до пошуків структурних пасток іншої форми, зокрема пасток, що обмежені розломами та інших. Однак, наявність ймовірних структурних пасток не є достатньою умовою насичення вуглеводнями гірських порід у цих пастках. Крім того, кількість структурних пасток з розмірами, достатніми для рентабельного вилучення вуглеводнів, ймовірно зменшується. Отже, виявлення неантиклінальних або неструктурних покладів вуглеводнів сьогодні є актуальною задачею (Бенько та ін., 2013; Бурдейний та ін., 2026), а перспективи відкриття нових родовищ газу і нафти в значній мірі пов‘язані з розвитком цього напрямку сейсмічних досліджень.

Метод. Технологія прямого виявлення покладів вуглеводнів базується на використанні їх сейсмічних індикаторів, до яких відносять деякі сейсмічні атрибути,

зокрема огинаюча сейсмічного сигналу, відносний акустичний імпеданс тощо. Ці атрибути можуть бути визначені за сумарним сейсмічним зображенням геологічного середовища (Злочевська та ін., 2026; Лісний, 2002).

Більш інформативними є AVO – атрибути, що визначаються за допомогою кутових сейсмічних зображень геологічного середовища (Вижва та ін., 2025). Поширений підхід до обчислення AVO – атрибутів оснований на дослідженнях Шуе (Shuey, 1985), важливим результатом яких є рівняння для обчислення принципових AVO – атрибутів Intercept та Gradient. Ці атрибути дозволяють обчислювати просторові розподіли значень інших атрибутів, зокрема флюїд-фактору, газ-індикатору та інших, що дозволяють виявляти насичені вуглеводнями інтервали геологічного розрізу. Окреме місце посідає атрибут Intercept, який має фізичний зміст сейсмічного зображення, отриманого за сейсмограмою нормального падіння хвиль на відбиваючу границю, або за сейсмограмою центральних променів. Просторові розподіли цього атрибуту дозволяють надійно виявляти амплітудні аномалії сейсмічних даних. До таких амплітудних аномалій відносяться класичні яскраві плями, а також тьмяні плями, зміни полярності відбитих сейсмічних хвиль та плоскі плями, що ототожнюються з контактами води та газу або нафти. Спільне використання атрибутів Intercept та Gradient дозволяють проводити їх кросплотний аналіз. Результатом такого аналізу є визначення положень покрівель та підошв продуктивних пластів, які насичені вуглеводнями.

Разом із виявленням покрівель та підошв продуктивних пластів важливе значення мають способи визначення фізичних характеристик власне продуктивних пластів. Такими властивостями пластів є швидкості поздовжніх та поперечних сейсмічних хвиль, густина, а також відношення швидкостей поздовжніх та поперечних хвиль *Vp/Vs* та імпеданси для поздовжніх та поперечних хвиль. Обчислення цих характеристик продуктивних пластів та геологічного середовища в цілому виконується за допомогою технології синхронної інверсії з використанням відповідного програмного забезпечення (Chopra & Castagna, 2014). Вихідними даними для синхронної інверсії є кутові сейсмічні зображення. У даному дослідженні кутові сейсмічні зображення були отримані за допомогою пре-стек міграції Кірхгофа.

Результати. За результатами кросплотного аналізу атрибутів Intercept та Gradient побудована об‘ємна модель газових пластів Зв‘язівської площі. На рис. 1 показані положення виділених газових пластів у 2-Д поданні. Вони відносяться переважно до відкладів нижнього та середнього карбону. Для наочності пласти показані різними кольорами. Положення свердловин Малосороченського та Камишнянського родовищ показані білими символами з відповідними номерами.

Визначення достовірності виявлення газових пластів за допомогою результатів AVO-аналізу, зокрема результатів кросплотного аналізу атрибутів Intercept та Gradient, проведено з використанням даних випробування свердловин. На рис. 2 наведені приклади вертикальних розрізів сейсмічного зображення Зв‘язівської площі через свердловини, в яких проведено випробування та отримані промислові припливи газу. Рожевим кольором позначений приплив природного газу, синім – приплив пластової води, зеленим – приплив нафти.

На рис. 2а показано вертикальний розріз сейсмічного зображення Зв’язівської площі уздовж лінії XL 192 через свердловину ML 22 з результатами випробувань продуктивного пласта В-24-25 у візейських відкладах нижнього карбону в інтервалі 2525-2558 м. В результаті випробувань отримано приплив газу 179 тис. м^3/добу. Інтервал перфорації повністю співпадає з положенням газового пласта, який визначено за результатами AVO-аналізу. Рис. 2б демонструє вертикальний розріз сейсмічного зображення уздовж лінії XL 188 через свердловину ML 21 з результатами випробувань продуктивного пласта В-24-25 в інтервалі 2505-2520 м, в якому отримано приплив газу 30 тис. м^3/добу. Аналіз результатів випробувань інших продуктивних свердловин Зв’язівської площі показав

повний збіг інтервалів перфорації із положенням газових пластів, що виявлені за результатами AVO-аналізу.

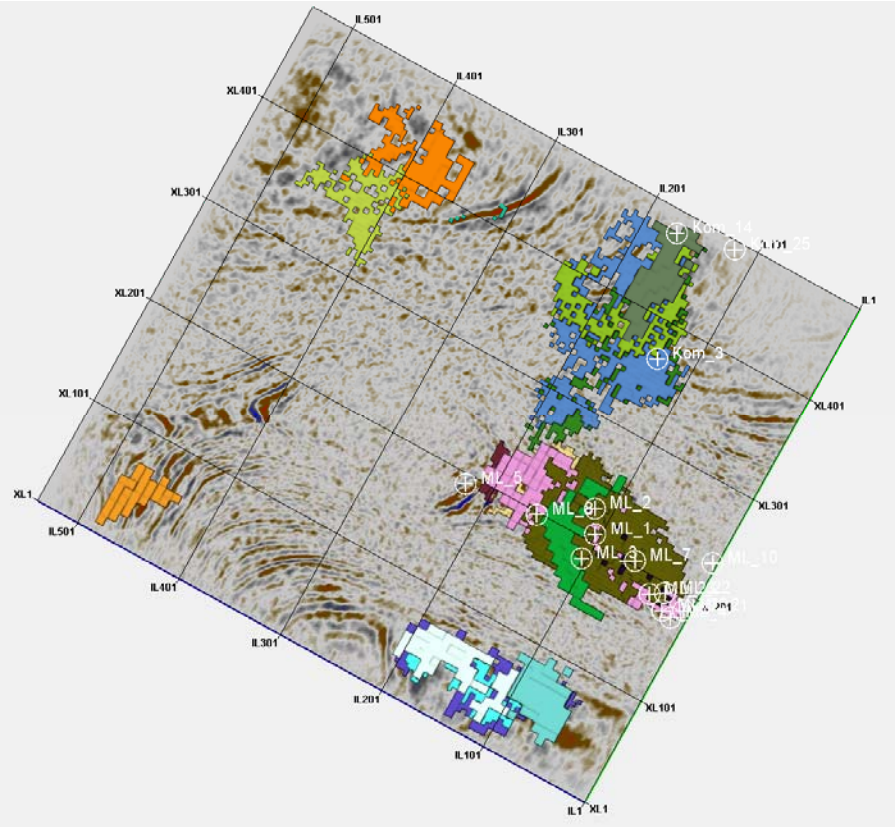
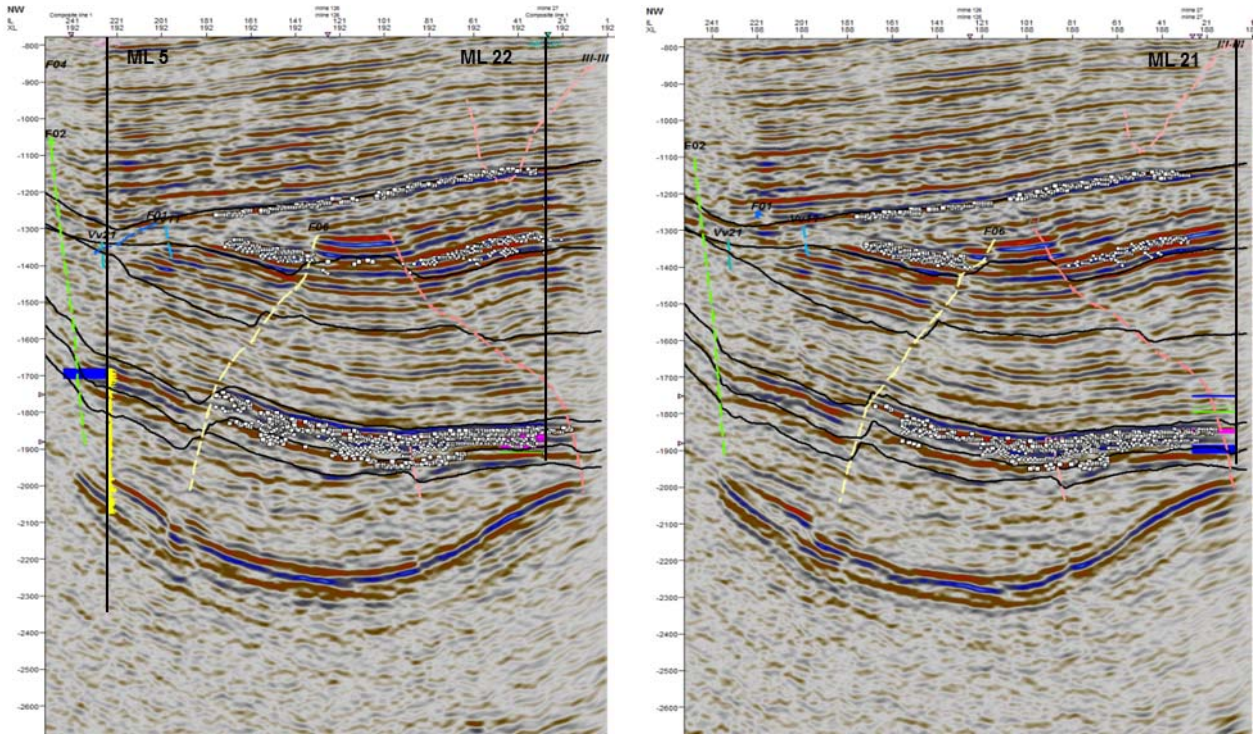


Рис. 1. Проекція покрівель та підошв газових пластів на горизонтальний зріз сейсмічного зображення для часу 2100 мс



а б

Рис. 2. Вертикальний розріз сейсмічного зображення через свердловини: ML 5, ML 22 (а), ML 21 (б). Кульками та квадратами показані покрівлі та підошви газових пластів відповідно, які виявлені за даними AVO-аналізу

На рис. 3. наведено приклад розподілу значень атрибуту відношення швидкостей поширення поздовжніх та поперечних хвиль *Vp/Vs* для продуктивного пласта В-24-25 Карайкозівської ліцензійної ділянки в об'ємному поданні. Показана також продуктивна свердловина Карайкозівська - 54. В результаті випробувань свердловини отримано комерційний приплив газу. Положення відповідних інтервалів перфорації показано червоними прямокутниками. Понижені значення атрибуту *Vp/Vs*, які відповідають газонасиченим зонам показані темно-синім та фіолетовим кольорами. З рис. 3 випливає, що свердловина Карайкозівська - 54 знаходиться в оптимальному місці у верхній частині доволі великої газонасиченої зони. Таке положення свердловини є передумовою ефективного вилучення газу з продуктивного пласта. Слід зазначити, що газонасичена зона не поширюється до нижньої частини прогину, яка може бути обводнена.

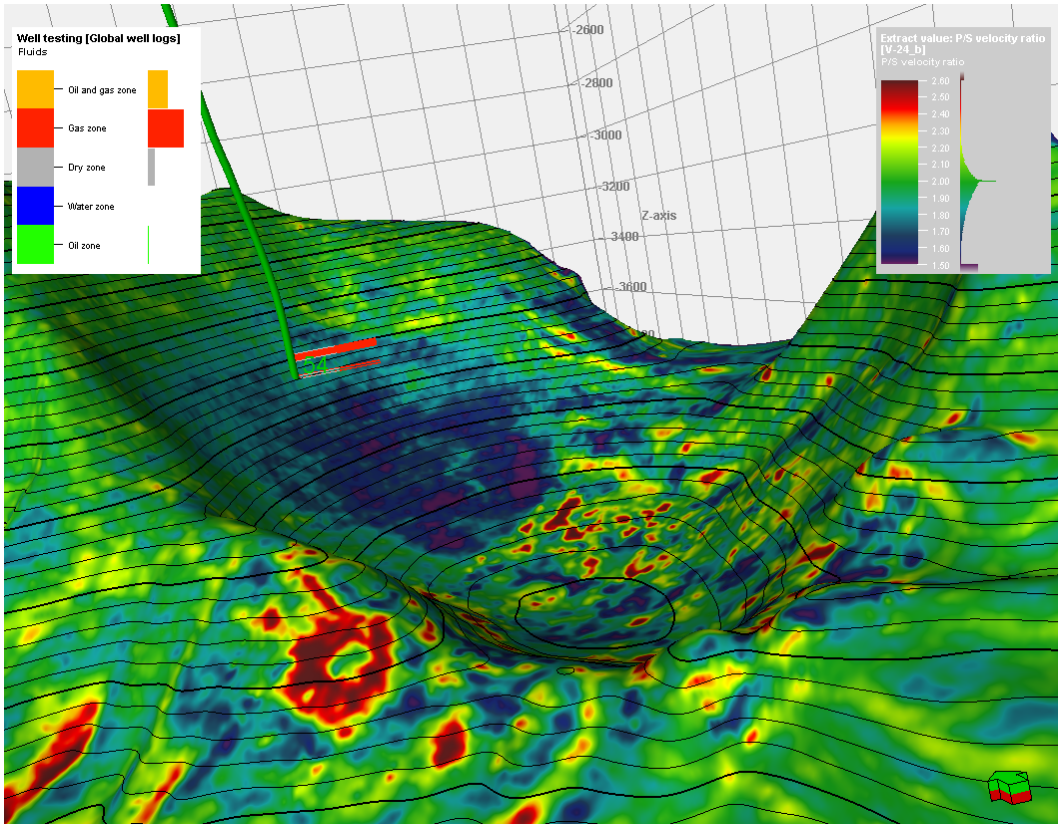


Рис. 3. Продуктивний пласт В-24-25 Карайкозівського родовища у тривимірному поданні з розподілом значень атрибуту *Vp/Vs*. Траєкторія продуктивної свердловини Карайкозівська - 54. Інтервали припливу газу показані червоними прямокутниками

На рис. 4 показана підошва продуктивного пласта В-24-25 Карайкозівської ліцензійної ділянки у 2-Д поданні. Чорним кольором показані траєкторії свердловин, які розкрили продуктивний пласт В-24-25. Кульки чорного кольору відповідають місцям перетину свердловин із продуктивним пластом В-24-25. Газові зони, що отримані за результатами кросплотного аналізу атрибутів Intercept та Gradient, показані квадратиками червоного кольору. У місці перетину із соляним штоком підошва пласта В-24-25 відновлена шляхом інтерполяції. Це дозволяє позбавитися від неоднозначного трактування результатів виявлення газових зон за результатами кросплотного аналізу. Свердловини Карайкозівська - 32, 37 та 41 вважаються непродуктивними. Це повністю узгоджується з відсутністю газонасичених зон в місці перетину цих свердловин з продуктивним пластом В-24-25. Водночас у свердловинах Карайкозівська - 48, 54 та 57 отримано припливи газу. Причому свердловина Карайкозівська - 54 характеризується доволі великим припливом газу. Результати випробування свердловин Карайкозівська – 48, 54 та 57 узгоджуються з положення газонасичених зон, отриманих за результатами кросплотного аналізу.

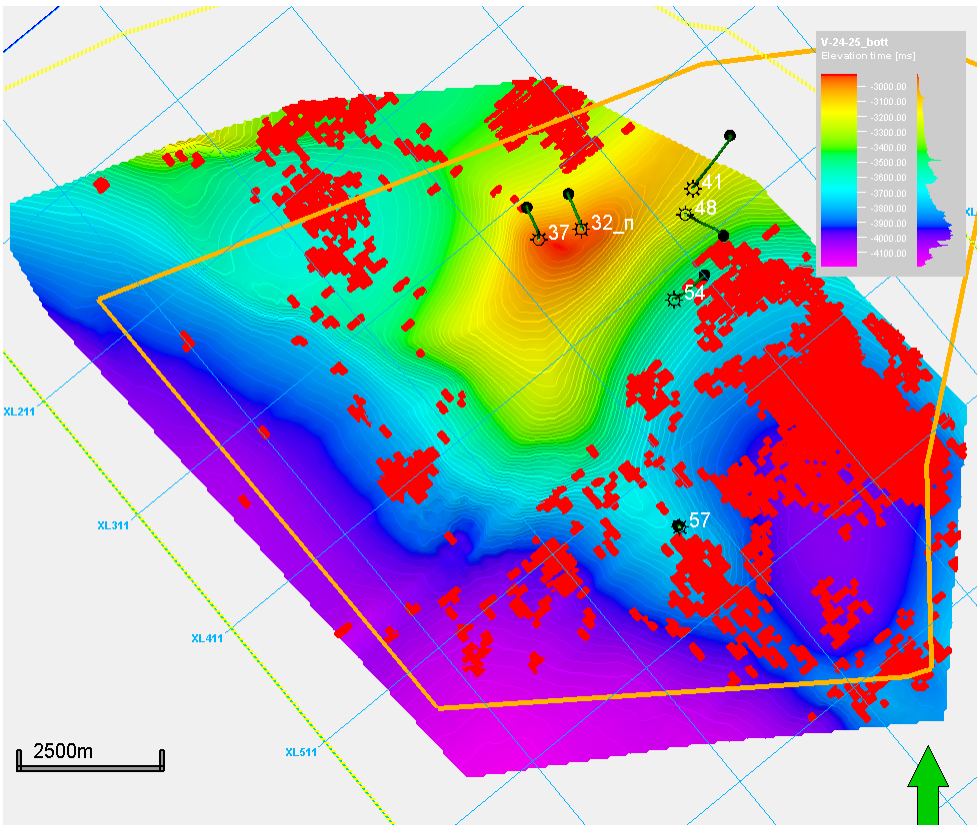


Рис. 4. Підошва продуктивного пласта В-24-25.
Ймовірно газонасичені зони показані квадратиками червоного кольору

Висновки. Результатами наведених досліджень є виявлення нових покладів газу для родовищ приосьової частини та північного борту Дніпровсько-Донецької западини, збільшення обсягів ресурсів вуглеводнів та створення передумов для підвищення економічної ефективності видобутку природного газу і нафти. Проведена авторами робота підтверджує необхідність використання технології прямого виявлення покладів вуглеводнів під час інтерпретації даних сейсморозвідки 3-Д та побудови геологічних моделей родовищ та перспективних площ.

Використання технології прямого виявлення покладів вуглеводнів передбачає використання закономірностей розподілу значень амплітуд сейсмічних даних, зокрема повних та кутових сейсмічних зображень. Тому необхідними умовами отримання коректних просторових розподілів значень сейсмічних індикаторів вуглеводнів є використання відповідних регулярних систем спостережень під час проведення сейсмічної зйомки, а також попередження викривлень сигналів сейсмічних хвиль під час обробки та інтерпретації сейсморозвідувальної інформації. Запропоновані авторами підходи до виявлення неантиклінальних покладів вуглеводнів доцільно застосовувати для площ та родовищ Дніпровсько-Донецької западини в цілому. Впровадження результатів роботи в практику геологорозвідувальних робіт є важливим напрямком підвищення енергетичної незалежності України.

Список використаних джерел:

Бенько, В. М., Маєвський, Б. Й., Лагутін, А. А., & Хомин, В. Р. (2013). Особливості геологічної будови і перспектив нафтогазоносності глибокозанурених горизонтів Дніпровсько-Донецької западини: Монографія. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ. 208 с.

Бурдейний, Т. О., Злочевська, К. М., Круглик, В. М., & Лісний, Г. Д. (2026). Перспективи нафтогазоносності глибокозанурених горизонтів Октябрського родовища. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія,* 1(112), 97–104. http://doi.org/10.17721/1728-2713.112.11

Вижва, С. А., Круглик, В. М., & Лісний, Г. Д. (2025). Особливості інтерпретації амплітудних аномалій за даними сейсмічних зйомок на північному борту Дніпровсько-Донецької западини. *Геофізичний журнал*, 47(1), 83—96. https://doi.org/10.24028/gj.v47i1.311560

Злочевська, К. М., Круглик, В. М., & Лісний, Г. Д. (2026). Перспективи виявлення нових покладів вуглеводнів Карайкозівського родовища. *Мінеральні ресурси України*, (1), 39–43. https://doi.org/10.31996/mru.2026.1.39-43

Лісний, Г. Д. (2002). Використання моделі анізотропного середовища для аналізу сейсмічних зображень геологічних об‘єктів: Монографія. Київ: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет». 136 с.

Chopra, S., & Castagna, J. P. (2014). AVO. *Society of Exploration Geophysicists*. https://doi.org/10.1190/1.9781560803201

Shuey, R. T. (1985). A simplification of the Zoeppritz equations. *Geophysics*, 50(4), 609-614. https://doi.org/10.1190/1.1441936

References:

Benko, V. M., Mayevsky, B. Y., Lagutin, A. A., & Khomyn, V.R. (2013). Peculiarities of the geological structure and prospects of oil and gas bearing capacity of deep-seated horizons of the Dnieper-Donetsk depression: Monograph. Ivano-Frankivsk: IFNTUNG. 208 p. [in Ukrainian].

Burdeinyi, T. O., Zlochevska, K. M., Kruhlyk, V. M., & Lisny, G. D. (2026). Prospects of oil and gas bearings of deep horizons of the Oktyabrske field. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology, 1*(112), 97-104. https://doi.org/10.17721/1728-2713.112.11 [in Ukrainian].

Chopra, S., & Castagna, J. P. (2014). AVO. *Society of Exploration Geophysicists*. https://doi.org/10.1190/1.9781560803201

Lisny, G. D. (2002). Using an anisotropic medium model for the analysis of seismic images of geological objects: Monograph. Kyiv: Publishing and Printing Center "Kyiv University". 136 p. [in Ukrainian].

Shuey, R. T. (1985). A simplification of the Zoeppritz equations. *Geophysics*, 50(4), 609-614. https://doi.org/10.1190/1.1441936

Vyzhva, S. A., Kruhlyk, V. M., & Lisny, G. D. (2025). Features of amplitude anomalies according to the seismic data on the northern side of the Dnipro-Donetsk Depression. *Geofizychnyi Zhurnal*, 47(1), 83—96. https://doi.org/10.24028/gj.v47i1.311560 [In Ukrainian].

Zlochevska, K. M., Kruhlyk, V. M., & Lisny, G. D. (2026). Prospects for discovering new hydrocarbon deposits in the Karaikozivske field. *Mineral resources of Ukraine,* (1), 39–43. https://doi.org/10.31996/mru.2026.1.39-43 [In Ukrainian].

УДК 553.98.553.044

ОСОБЛИВОСТІ РОЗРОБКИ ПОКЛАДІВ ГАЗУ З НИЗЬКИМ ГАЗОНАСИЧЕННЯМ ПОРІД-КОЛЕКТОРІВ

Дмишко О.[1], *odmisko@gmail.com;*
Багнюк М.[2], *к. геол. н., bagnyuk.unga@i.ua;*
Костик Р.[3], *roman.kostyk@ppc.net.ua;*
1– Державна комісія України по запасах корисних копалин, м. Київ, Україна;
2 – ПП «НВФ «ГЕОНАФТОГАЗПРОЕКТ», м. Львів, Україна;
3 – СП «Полтавська газонафтова компанія», м. Полтава, Україна

Наведена геолого-промислова характеристика порід-колекторів дашавської світи та параметри експлуатації свердловин, якими дренуються поклади газу з низьким газонасиченням. Проаналізовано показники розробки таких об'єктів. Встановлено причину зростання обводнення продукції. Рекомендовано враховувати це явище для надійного прогнозування обсягів видобутку газу.

Ключові слова: породи-колектори, газонасичення, дреновані запаси газу

FEATURES OF DEVELOPMENT OF GAS FIELDS WITH LOW GAS SATURATION OF RESERVOIR ROCK

Dmyshko O.[1], *odmisko@gmail.com;*
Bahniuk M.[2], *PhD (Geol.) bagnyuk.unga@i.ua;*
Kostyk R.[3], *roman.kostyk@ppc.net.ua;*
1 – State Commission of Ukraine on Mineral Resources, Kyiv, Ukraine;
2 –PE "NVF "GEONAFTOGAZPROEKT", Lviv, Ukraine;
3 – JV "Poltava Petroleum Company". Poltava, Ukraine

The geological and industrial characteristics of the reservoir rocks of the Dashava formation and the parameters of wells used for draining gas fields with low gas saturation are presented. The development indicators of such objects are analyzed. The reason for the increasing the water content of the product. It is recommended to take this phenomenon into account for reliable forecasting of gas production volumes.

Keywords: reservoir rocks, gas saturation, drained gas reserves

Вступ. Об'єктами дослідження даної роботи є поклади газу виявлені у відкладах дашавської світи сарматського ярусу Передкарпатського прогину. В літологічному плані характерною особливістю утворень дашавської світи є ритмічність її будови. Кожний ритм починається тонкими шарами глинистих порід, котрі вверх по розрізу поступово збагачуються піщаним матеріалом. В кінці ритму глинисті породи майже повністю замінюються піщано-алевролітовими утвореннями. Ритми завершуються різкою зміною піщаних порід на глинисті, в основі яких зустрічаються шари туфів і туфітів невеликої товщини [1].

Породами-колекторами для газу у відкладах дашавської світи є пісковики і алевроліти, які залягають серед глин та аргілітів. Товщина піщано-алевролітових прошарків змінюється від декількох сантиметрів до 1 м і більше. В окремих інтервалах їх товщини збільшуються і утворюють піщані пачки. Загалом вміст піщано-алевролітових прошарків у загальній товщині горизонту пересічно становить 10-40 %. Разом з тим вони нерівномірно розподілені по розрізу і площі структури.

У межах газових родовищ та прилягаючих до них околиць водоносні горизонти дашавської світи не мають ні області живлення, ні області розвантаження, що обумовлює закритий характер їх водонапірної системи. Цей фактор разом зі значною літологічною неоднорідністю та невитриманістю продуктивних пластів як по розрізу, так і по площі практично виключає можливість просування законтурних вод у газові поклади і обумовлює газовий режим їх розробки. Такий висновок підтверджений практикою розробки багаточисельних родовищ. Разом з тим необхідно зауважити, що пересічною більшістю свердловин з самого початку їх експлуатації виноситься в незначних обсягах

вода. Вважається, що джерелом її поступлення є газоносні прошарки з великим коефіцієнтом водонасичення.

Для відомих родовищ газу колекторські властивості порід змінюються в широкому діапазоні. Зокрема середні значення відкритої пористості для покладів газу характеризуються величинами від 11,8 % до 29,0 %. Для вказаних меж пористості властиве газонасичення 50-80 %.

Згідно з проведеним аналізом показників експлуатації низки свердловин, інтервали перфорації яких характеризуються газонасиченням більше 65 % не встановлено відхилень їх роботи від режиму виснаження пластової енергії. Разом з тим для свердловин, у яких перфоровано пласти з меншим газонасиченням за певної величини пластового тиску в депресійній лійці спостерігається невідповідність між проєктними та фактичними показниками розробки. Останні різко зменшуються по відношенню до попередніх.

Для встановлення причин такого явища нами підібрані свердловини, якими розкриті газові ділянки покладів, їх геолого-промислова характеристика наведена у таблиці 1. Зважаючи на те, що ці матеріали є комерційною таємницею, номери свердловин змінено і не вказано в межах яких родовищ вони знаходяться. В цій ж таблиці наведені основні параметри експлуатації свердловин, за яких проходила зміна показників їх роботи.

Аналіз поданої інформації показує, що початковий період експлуатації свердловин характеризується практично постійною величиною водного фактору. Значення останнього є близьким до природної вологості газу, визначеної аналітично для початкових термобаричних умов покладу. Внаслідок відбирання газу пластовий тиск у депресійній лійці знижується. До певної його поточної величини об’єми видобутого газу на одиницю зниження приведеного тиску залишаються постійними. Для різних свердловин зі зниженням тиску на 18-47 % починає зростати обводнення продукції, що негативно впливає на їх продуктивність по газу.

Детально процес зміни показників експлуатації в часі розглянемо на прикладі свердловини 10. Визначені для неї дреновані запаси газу за початковий період роботи дорівнюють 300 млн м^3 (рис. 1). Зі зростанням об’єму води у її продукції для встановлення поточного пластового тиску необхідно значно більше часу на його відновлення.

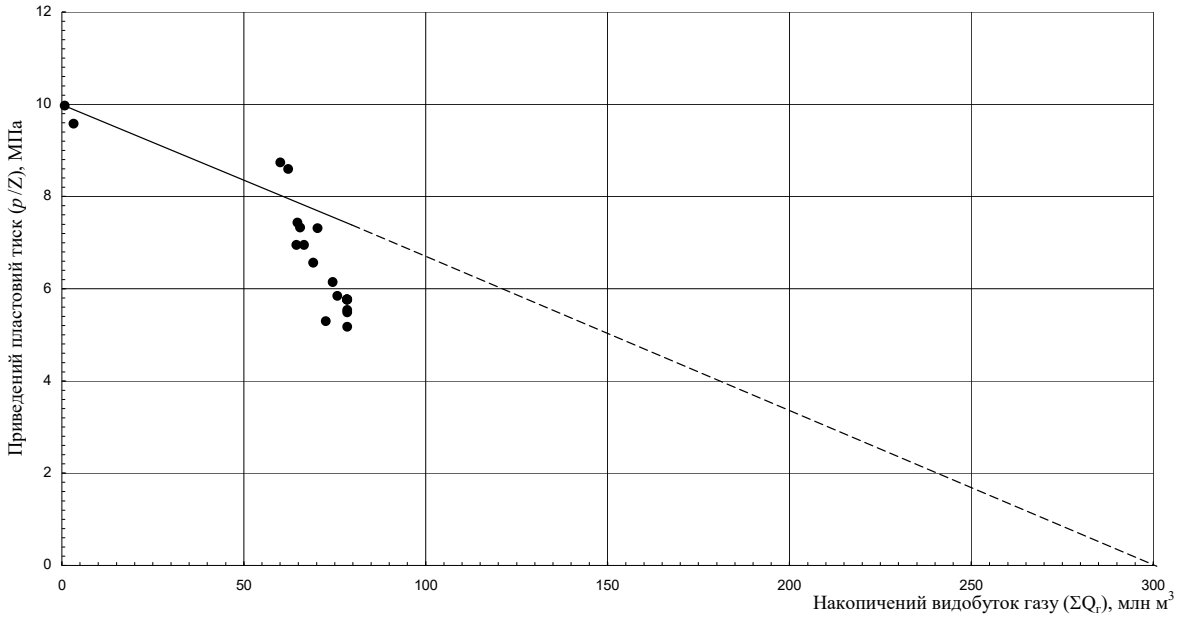


Рис. 1. Залежність приведеного пластового тиску від накопиченого видобутку газу. Свердловина 10. Поклад гор. НД-11

Таблиця 1

Геолого-промислова характеристика аналізованих свердловин

Номер свердловини	Інтервал перфорації, м	Горизонт	Початковий пластовий тиск, МПа	Пластова температура, К	Ефективна товщина в інтер. перф., м	Коефіцієнт відкритої пористості частка одн.	Газонасичення, %	Вологість газу при P_0, T_0, $см^3/м^3$	Водний фактор початковий, $см^3/м^3$	Тиск, при якому зростає водний фактор, МПа	Зниження тиску, %	Початкові дреновані запаси газу, млн $м^3$
1	1643-1660	НД-16	15,31	335	9,6	0,188	69	1,7	0,5	12,12	21	357
2	1594-1602	НД-15б	13,33	335	5,0	0,132	50	1,5,	0,5	10,97	18	38
3	1449-1459	НД-14	14,21	329	4,8	0,165	62	1,6	0,5	7,51	47	358
4	1281-1295	НД-12б-13	11,76	327	6,9	0,148	58	1,4	0,5	7,23	39	236
5	1232-1290	НД-13	11,39	325	6,9	0,149	56	1,4	0,2	8,88	22	210
6	1260-1276	НД-12б	12,03	322	4,7	0,172	61	1,4	0,2	8,40	30	106
7	1145-1199	НД-12а	11,16	320	15,6	0,259	60	1,4	0,5	7,09	36	256
8	1147-1218	НД-11-12а	10,51	320	14,9	0,147	57	1,3	0,4	6,72	36	111
9	1104-1165	НД-10-11	10,81	318	28,0	0,265	59	1,3	0,2	9,28	14	107
10	1130-1152	НД-11	8,93	318	6,1	0,174	50	1,2	0,9	7,17	20	300
11	1034-1098	НД-10	10,11	318	5,8	0,244	67	1,3	0	6,65	33	33
12	1074-1086	НД-10	10,55	318	7,0	0,208	69	1,3	0,1	6,59	38	205

Не виключено, що у привибійній зоні утворюється двофазна фільтрація газу і води. Це явище виникає внаслідок зростання ефективного тиску, зменшення об'єму пор і відповідно збільшення їх водонасичення. Останнє виникає за рахунок зрідження конденсаційної води, яка в сумі з залишковою утворюють критичне водонасичення. В такому випадку вода стає рухомою. Відповідно створюється певний бар'єр для відновлення пластового тиску, який характерний для контуру живлення. Тому, як показує практика, свердловина втрачає продуктивність значно швидше через стрімке зростання обводнення продукції.

Перебіг фактичного видобутку газу свердловиною 10 у функції часу зображено на рисунку 2. До зростання водного фактору свердловина 10 за рік забезпечувала видобуток газу в межах 7,0-8,8 млн м^3 (позначено червоним кольором на рис. 2). В наступні роки об'єм видобутого газу різко знизився до 3,8 млн м^3 і менше. Після 20 року він уже становив менше 1,0 млн м^3. Для порівняння нами виконано теоретичний прогноз видобутку газу по роках (позначено синім кольором на рисунку 2). За початковий період експлуатації прогнозні об'єми видобутку газу є близькі до фактичних. Зі зростанням обводнення продукції прогнозні видобутки газу є значно більші, ніж фактичні.

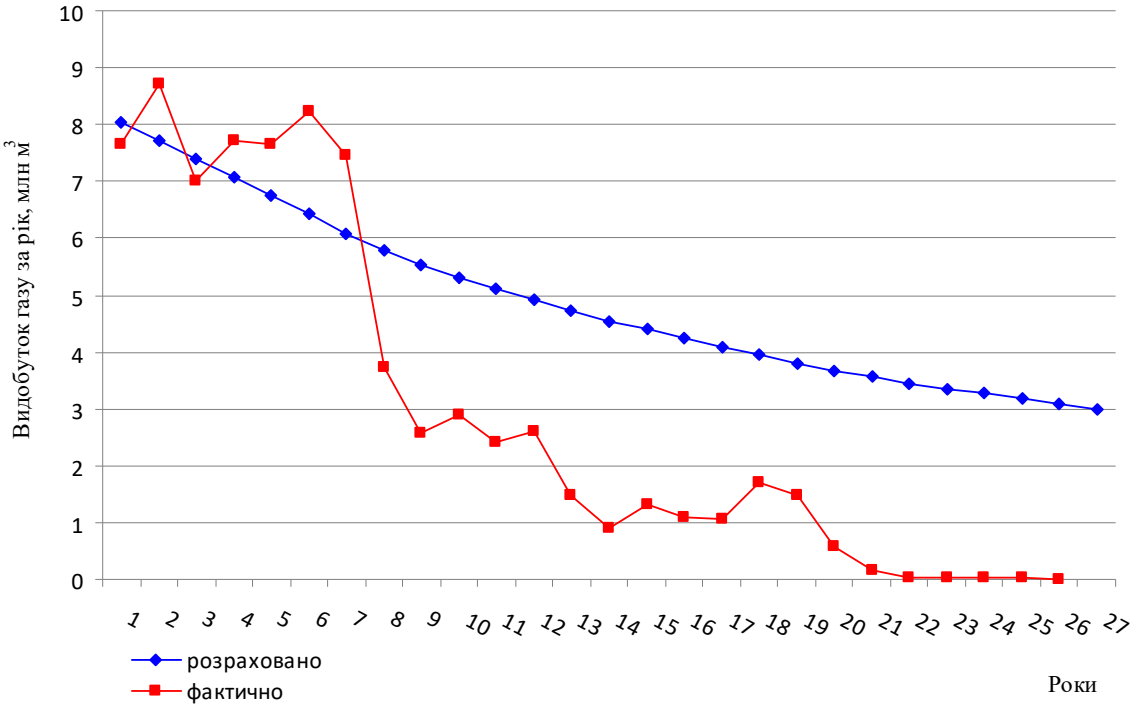


Рис. 2. Динаміка видобутку газу свердловиною 10 з покладу НД-11

Як наслідок, створюється ілюзія зменшення величини дренованих запасів газу і спотворення кривої зниження його дебіту (Decline Curve Analysis). Більш оптимістичний сценарій щодо прогнозованих показників одержимо за умови збереження однофазної фільтрації.

Висновки. В підсумку необхідно відзначити, що за появи двофазної фільтрації (газ+вода) в процесі розробки порід-колекторів з низьким газонасиченням, потрібно враховувати зростання водного фактору за певного значення тиску, шо має вирішальний вплив для надійного прогнозування показників розробки. Для забезпечення максимального газовилучення з таких пластів варто застосовувати методи інтенсифікації припливу газу.

Список використаних джерел:

1. Атлас родовищ нафти і газу України: у 6 т./гол. ред. М.М. Іванюта. – Львів: Центр Європи, 1998.

УДК 553.98:551.24

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАЛУЧЕННЯ ІНВЕСТИЦІЙ У РОЗВІДКУ ГЛИБОКОЗАЛЯГАЮЧИХ ВІДКЛАДІВ ДДЗ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ БЕЗПЕКИ

***Гафич І.П.*[1]**, *к.. геол.-мін. н., gafichip@dtek.com,*
ДТЕК Нафтогаз, м. Київ, Україна

Актуальність дослідження обумовлюється проблемою забезпечення енергонезалежності України шляхом нарощування видобутку вуглеводнів та освоєння ресурсного потенціалу глибокозалягаючих нафтогазоносних комплексів центральної частини Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ). Обґрунтовано перспективність пошуку покладів нафти і газу на глибинах понад 6–7 км, для яких відзначено наявність зон розущільнення, підвищеної тріщинуватості порід та ізольованих піщаних тіл, що виступають колекторами з ефективним поровим простором та достатніми фільтраційно-ємнісними властивостями. Наголошено на сучасних викликах під час планування геологорозвідувальних робіт, які потребують застосування інноваційних методів об’ємної сейсморозвідки, спеціальних досліджень керну та комплексу високотехнологічних досліджень у свердловинах (крос-дипольна акустика, ядерно-магнітний каротаж тощо). Підкреслено необхідність комплексного наукового обґрунтування закономірностей формування покладів вуглеводнів та інтеграції геологічних і геофізичних даних для ефективного освоєння надр.

Ключові слова: Дніпровсько-Донецька западина, вуглеводні, глибокі горизонти, породи-колектори, геологорозвідувальні роботи, енергонезалежність

PROSPECTS OF ATTRACTING INVESTMENTS IN THE EXPLORATION OF DEEP-SEATED DEPOSITS OF THE DDD FOR ENSURING ENERGY SECURITY

***Gafych I.*[1]**, *Cand. Sci. (Geol.-Mineral.), gafichip@dtek.com,*
DTEK Oil&Gas, Kyiv, Ukraine

The relevance of the study is determined by the problem of ensuring Ukraine's energy independence by increasing hydrocarbon production and developing the resource potential of deep-seated oil and gas-bearing complexes in the central part of the Dnieper-Donets Depression (DDD). The prospects for searching for oil and gas deposits at depths of more than 6–7 km are substantiated, for which the presence of decompaction zones, increased rock fracturing, and isolated sand bodies acting as reservoirs with effective pore space and sufficient filtration-capacitive properties is noted. Emphasis is placed on modern challenges in planning geological exploration works, which require the application of innovative methods of 3D seismic exploration, special core analyses, and a complex of high-tech well logging (cross-dipole acoustics, nuclear magnetic logging, etc.). The necessity of comprehensive scientific substantiation of the patterns of hydrocarbon deposit formation and the integration of geological and geophysical data for effective subsoil development is emphasized.

Keywords: Dnieper-Donets Depression, hydrocarbons, deep horizons, reservoir rocks, geological exploration works, energy independence.

Нарощування обсягів власного видобутку нафти і газу з кожним роком стає все більш актуальним завданням забезпечення енергонезалежності України. Гостра проблема в вуглеводневій сировині, спричинена значною виснаженістю запасів діючих родовищ, стимулює розвиток нових напрямків геологорозвідувальних робіт. Одним з найбільш перспективних і стратегічно важливих шляхів збільшення обсягів видобутку є освоєння ресурсного потенціалу глибокозалягаючих нафтогазоносних комплексів порід центральної приосьової частини Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ), основного Східного нафтогазовидобувного регіону України. Ресурсний потенціал глибоких горизонтів ДДЗ оцінений вченими УкрДГРІ в 1 млрд т у.п. З них до 70% зосереджено в центральній приосьовій частині западини на глибинах до 6,5 км і більше.

Буріння глибоких свердловин в центральній частині ДДЗ обумовило відкриття низки раніше невідомих седиментологічних та літолого-епігенетичних явищ, що суттєво впливають на процеси нафтогазонакопичення і мають особливе значення при визначенні напрямків і плануванні ГРР, освоєнні вуглеводневого потенціалу глибокозанурених відкладів депресій приосьової частини западини. Ці депресійні формації складають центральні («ядерні») частини більшості глибоких і суперглибоких нафтогазоносних басейнів світу, значною мірою визначаючи їх загальний вуглеводневогенеруючий

потенціал (Лукін, 2011). При заляганні на глибинах до 4,0-4,5 км вони можуть бути нетрадиційними джерелами газу центральнобасейнового типу. Однак на великих глибинах основний пошуковий інтерес складають породні тіла з фільтраційно-ємнісними властивостями (ФЄВ) достатніми для отримання промислових припливів газу і конденсату. При цьому сама присутність ефективного порового простору в колекторі на глибинах понад 6 км, часто приуроченого до порід з проявами різноманітних факторів ущільнення, є аномалією, оскільки суперечить основній термодинамічній тенденції елімінування первинних ФЄВ, що властива будь якому осадовому басейну і котра підтверджується трендами зниження пористості порід з глибиною (Лукін, Гафич, 2021, 2024).

Надглибоким бурінням останнього десятиріччя доказана промислова продуктивність пісковиків девону на глибинах до 6750м (Семиренківська площа), наявність газоносних колекторів в турнейських карбонатах та потужних товщах пісковиків франського ярусу девону на глибинах до 6800м (Мачуська та Ковалівсько-Сулимівська площі) центральної частини ДДЗ. В ряді свердловин на глибинах понад 6,5км при бурінні мали місце потужні газопрояви та катастрофічні поглинання бурового розчину з «провалами» бурового інструменту, що в сукупності з рядом інших факторів свідчить про наявність зон розущільнення і підвищеної тріщинуватості порід на великих глибинах. Підтверджуються і високі перспективи XIIа мікрофауністичного горизонту (XIIа), де рядом свердловин глибиною до 6,5 км виявлено і освоюються поклади газу і конденсату ізольованих піщаних тіл в товщах глибоководних осадів на схилах депресій.

Сейсморозвідувальними роботами та бурінням надглибоких свердловин останніх років у відкладах верхнього девону на глибинах до 6,5 км встановлена наявність пасток літо-фаціального (авандельти, конуси виносу) типу та потужних (до 1000м) товщ газонасичених ущільнених пісковиків, котрі містять переважно поклади газу центральнобасейнового типу (Вижва, Гафич, 2026). На глибинах понад 7 км виявлено ряд НГПО структурного типу з значним ресурсним потенціалом.

В ході ГРР останніх років встановлено наявність ізольованих піщаних тіл, потенційних НГПО, на глибокозанурених (6,5 км) терасовидних схилах прибортових зон западини далеко за межами структурних об’єктів і структурних носів на їх продовженні. Також встановлено суттєві відмінності в формуванні покладів ВВ в відкладах XIIа горизонту Південного борту ДДЗ представленого, як потужними піщаними тілами турбідітової природи, так і каналами, течіями і іншими літо-фаціальними об’єктами.

Таким чином глибокі горизонти дають нові можливості, але і створюють виклики перед обґрунтуванням напрямків і проведенням геологорозвідувальних робіт, комплексуванням геологічних і геофізичних методів досліджень, інтеграцією даних і їх геологічною інтерпретацією. В технологічному аспекті це стосується насамперед впровадження нових технологій об’ємної сейсморозвідки орієнтованих на збільшення глибинності, детальності і достовірності даних, інноваційних методів обробки інформації для літолого-стратиграфічного і фаціального моделювання та якісного і кількісного оцінювання параметрів резервуарів. В дослідженні свердловин важливу роль відіграють методи комплексування: від відбору і спеціальних досліджень керну в тому числі орієнтованих на вивчення умов утворення та структури порового простору порід-колекторів до проведення високотехнологічних досліджень «геологічними» методами, такими як крос-дипольна акустика, імейджери, спектральний, «геохімічний» та ядерно-магнітний каротаж і ін.

При оцінюванні ресурсного потенціалу глибоких горизонтів ДДЗ і створенню напрямків геологорозвідувальних робіт (ГРР) з його освоєння, основна увага має бути приділена вивченню і науковому обґрунтуванню закономірностей формування і просторового розподілу покладів вуглеводнів, умов нафтогазонакопичення і розвитку колекторів, комплексному застосування нових методів і технологій та інтеграції результатів їх досліджень.

Список використаних джерел:

Лукін О.Ю., Гафіч І.П. Про генезис вторинних колекторів нафти та газу на надвеликих глибинах. Доп. НАН України. 2016. № 7. С. 86—94. https://doi.org/10.15407/ dopovidi2016.07.086.

Лукін О.Ю., Гафич І.П., Гончаров Г.Г., Макогон В.В., Пригаріна Т.М. Вуглеводневий потенціал надр України та головні напрями його освоєння. Мінеральні ресурси України. № 4. 2020. С. 28—38. https://doi.org/10.31996/ mru.2020.4.28-38.

Лукін, О. Ю., Гафич, І. П., & Лукін, Я. В. (2024). Фактори та механізми формування продуктивних вторинних колекторів у глибокозалягаючих нафтогазоносних комплексах. Стаття 1.: Тектонофізичні механізми розущільнення нижньо-кам'яновугільних кварцито-пісковиків центральної частини Дніпровсько-Донецької западини на глибинах понад 4,5 км. Мінеральні ресурси України, (1), 12–22. https://doi.org/10.31996/mru.2024.1.12-22

Вижва, С., Гафич, І., & Шабатура, О. (2026). Нові напрями пошуку вуглеводнів у глибокозалеглих відкладах Дніпровсько-Донецької западини: виклики та можливості. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія, 1(112), 89-96. https://doi.org/10.17721/1728-2713.112.10

УДК 349.6:553.98

ПРОБЛЕМАТИКА ВИКОРИСТАННЯ НАУКОВИХ ПОЛІГОНІВ В УМОВАХ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ КРИЗИ В УКРАЇНІ

Власенко Н.Р.*[1]*, *vlasenkonr@dtek.com,*
Михайлів І.Р.*[2]*, *к. геол. н., доцент, ORCID ID0000-0003-4363-9974,*
iryna.mykhailiv@nung.edu.ua,
1 - ТОВ «Нафтогазексплуатація», м. Київ, Україна,
2 – Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
м. Івано-Франківськ. Україна

Розглянуто проблемні питання використання наукових полігонів для геологічних досліджень надр України в умовах воєнного стану та енергетичної кризи. Проаналізовано зміни нормативно-правового регулювання користування надрами для наукових цілей та пов'язані з ними питання подальшого використання результатів геологічних досліджень. Узагальнено окремі підходи зарубіжної практики до організації наукового вивчення надр. Обґрунтовано необхідність поетапного підходу до використання території наукового полігону, за якого після завершення визначеного етапу досліджень перспективні та достатньо вивчені частини можуть передаватися для подальшого промислового освоєння, тоді як недостатньо досліджені ділянки зберігають наукове призначення. Запропонований підхід дає змогу поєднати розвиток геологічної науки, раціональне використання надр та необхідність розширення ресурсної бази України.

Ключові слова: науковий полігон, геологічне вивчення надр, користування надрами, нафтогазоносні надра, промислове освоєння, раціональне використання надр, енергетична безпека.

CHALLENGES OF SCIENTIFIC TEST SITES AMID THE ENERGY CRISIS IN UKRAINE

Vlasenko N.*[1]*, *vlasenkonr@dtek.com;*
Mykhailiv I.*[2]*, *Cand. Sci. (Geol.), Assoc. Prof., ORCID ID0000-0003-4363-9974,*
iryna.mykhailiv@nung.edu.ua,
1 – Director of OIL&GAS EXPLOITATION LLC, Kyiv, Ukraine,
2 – Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, Ukraine

The article examines the challenges associated with the use of scientific test sites for geological research of Ukraine's subsoil resources under conditions of martial law and the energy crisis. It analyzes changes in the regulatory and legal framework governing subsoil use for scientific purposes, as well as issues related to the subsequent utilization of geological research results. Selected approaches from international practice concerning the organization of scientific subsoil exploration are summarized. The study substantiates the need for a phased approach to the use of scientific test site territories, whereby, upon completion of a defined stage of research, prospective and sufficiently explored areas may be transferred for further commercial development, while insufficiently studied areas retain their scientific designation. The proposed approach makes it possible to combine the development of geological science, the rational use of subsoil resources, and the need to expand Ukraine's resource base.

Keywords: scientific test site, geological exploration of subsoil, subsoil use, oil and gas-bearing subsoil, commercial development, rational use of subsoil resources, energy security.

Вступ. Геологічне вивчення надр є необхідною передумовою оцінювання їх ресурсного потенціалу та прийняття рішень щодо подальшого використання перспективних ділянок. Особливого значення цей процес набуває для нафтогазоносних надр, де результати геологічних, геофізичних та інших досліджень визначають можливість обґрунтованого прогнозування, пошуку, оцінки та подальшого освоєння родовищ.

Водночас сучасні зміни нормативно-правового регулювання користування надрами в Україні створюють необхідність переосмислення підходів до функціонування наукових полігонів. Законом України № 2805-IX від 01 грудня 2022 року [1] було внесено зміни до статті 14 Кодексу України про надра [2], якими, зокрема, обмежено можливість надання нафтогазоносних надр для геологічного вивчення територій та об'єктів, що мають наукове або культурне значення, у тому числі для створення та функціонування наукових полігонів.

Зазначені зміни є особливо актуальними в умовах енергетичної кризи та воєнного стану, коли забезпечення внутрішньої ресурсної бази держави набуває стратегічного значення. Разом із тим виникає питання щодо подальшої долі ділянок надр, на яких уже

проведено комплексні дослідження та отримано геологічну інформацію, що може свідчити про їх перспективність для промислового освоєння.

Отже, **метою дослідження** є обґрунтування поетапної моделі використання наукових полігонів, що забезпечує поєднання геологічного вивчення надр, раціонального використання їх ресурсного потенціалу та можливості промислового освоєння достатньо вивчених перспективних ділянок.

Основний текст. Науковий полігон за своєю суттю призначений для отримання нової геологічної інформації та проведення різноманітних технічних/технологічних досліджень. Однак його функціонування не обов'язково має передбачати безстрокове збереження всієї території у науковому режимі після досягнення визначених цілей дослідження. Якщо результати робіт дозволяють виділити достатньо вивчені перспективні частини, постає питання можливості їх подальшого використання для промислового освоєння.

Зарубіжна практика демонструє різні підходи до організації наукового вивчення надр. У США та європейських країнах функціонують спеціальні дослідницькі об'єкти та застосовуються дозвільні механізми для проведення геологічних і геофізичних досліджень. В окремих випадках дослідницькі роботи передують прийняттю рішень щодо подальшого використання відповідних ділянок надр. Такий підхід дозволяє розглядати наукове вивчення не як кінцевий етап використання території, а як основу для прийняття обґрунтованих рішень щодо її подальшого освоєння.

Для прикладу в США великі наукові полігони існують у форматі дослідницьких центрів: San Andreas Fault Observatory at Depth (SAFOD), EarthScope, підземні лабораторії для вивчення захоронення відходів, геотермії та сейсмічних процесів.

У країнах ЄС активно функціонують так звані **підземні наукові лабораторії (Underground Research Laboratories, URL)**: Mont Terri Underground Rock Laboratory (Швейцарія); Bure Underground Research Laboratory (Франція).

Досвід країн світу показує, що надра вивчаються в наукових цілях державними компаніями за бюджетні кошти, оскільки країни світу зацікавлені в наукових дослідження. В рамках Закону України «Про затвердження Загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 року» [3] Україна не спроможна виділити бюджетні кошти та такі дослідження, саме тому в переважній більшості такими роботами займаються компанії за власний кошт.

Разом з тим, цілком раціонально по закінченню певного переліку робіт, закривати наукові дослідження та передавати ділянки надр в промислову розробку. Питання трансформації ліцензії наукових полігонів у видобувні спеціальні дозволи є досить актуальним та стосується балансу між **науковими інтересами держави** та **енергетичною безпекою**.

Для України доцільним видається застосування поетапної моделі використання наукових полігонів. Її принциповою особливістю є відсутність необхідності переводити всю територію полігону з наукового режиму в промисловий. Після завершення визначеного комплексу дослідницьких робіт та оцінки їх результатів територія може бути диференційована залежно від ступеня її геологічної вивченості та встановленої перспективності.

У межах такої моделі можна виділити два основні напрями подальшого використання території:

1. Достатньо вивчені та перспективні частини території. За наявності підтверджених результатами геологічного вивчення передумов для промислового освоєння такі частини можуть бути виведені з меж наукового полігону та передані для подальшого користування надрами відповідно до встановленої законодавством процедури.

2. Недостатньо вивчені або такі, що мають подальший науковий інтерес, частини території. Такі ділянки доцільно зберігати в межах наукового полігону для продовження досліджень та отримання додаткової геологічної інформації.

Таким чином, науковий полігон може розглядатися як динамічний об’єкт геологічного вивчення, межі та функціональне призначення якого можуть уточнюватися залежно від результатів проведених досліджень.

Важливим питанням є також використання корисних копалин, які можуть бути отримані під час проведення дослідницьких робіт. Для нафтогазових об’єктів це може стосуватися, зокрема, вуглеводнів, отриманих у результаті випробування свердловин або інших технологічних операцій. У разі наявності технічної можливості їх використання доцільно передбачити правовий механізм, який би не створював передумов для необґрунтованої втрати потенційно цінної мінеральної сировини.

Принцип поетапного використання може бути представлений такою послідовністю:

науковий полігон → геологічне вивчення → оцінка результатів → диференціація території → промислове освоєння перспективних частин / продовження досліджень на інших частинах.

Запровадження такого механізму дозволило б поєднати дві функції користування надрами: отримання нової геологічної інформації та використання підтвердженого ресурсного потенціалу. Для держави це може створювати додаткові можливості залучення інвестицій, розвитку мінерально-сировинної бази та збільшення внутрішнього видобутку енергетичних ресурсів.

У цьому контексті актуальними є запропоновані законодавчі зміни щодо механізмів набуття та реалізації права користування надрами. Зокрема, положення законопроєкту № 15454 [4] передбачають можливість отримання спеціального дозволу на видобування корисних копалин за визначених законопроєктом умов для суб’єктів, які здійснювали геологічне вивчення відповідних ділянок та фінансували роботи з оцінки запасів або ресурсів.

Водночас механізм, за якого науковий полігон повністю переходить у промислове використання, не враховує можливості диференційованого розвитку території. Більш гнучким може бути підхід, за якого право на подальше промислове освоєння поширюється лише на ті частини полігону, щодо яких отримано достатній обсяг геологічної інформації та підтверджено їх перспективність, тоді як інша частина території зберігає статус об’єкта наукового дослідження.

Отже, основним завданням удосконалення правового регулювання наукових полігонів має бути створення механізму переходу від результатів геологічного вивчення до подальшого використання надр без втрати наукової функції території. Поетапне виділення перспективних частин полігону для промислового освоєння дозволить уникнути як безстрокового збереження недостатньо обґрунтованого наукового режиму, так і повної втрати можливостей для продовження геологічних досліджень.

Висновки. Наукові полігони є важливим інструментом системного геологічного вивчення надр, однак результати такого вивчення мають бути основою для прийняття подальших рішень щодо використання досліджених територій. В умовах енергетичної кризи особливого значення набуває можливість використання підтвердженого ресурсного потенціалу перспективних ділянок.

Доцільним є нормативне закріплення поетапного підходу, відповідно до якого після завершення визначеного етапу геологічного вивчення та оцінки отриманих результатів достатньо вивчені перспективні частини наукового полігону можуть передаватися для промислового освоєння, тоді як інші частини залишаються об’єктами подальших наукових досліджень.

Реалізація такого підходу потребує визначення критеріїв завершення відповідного етапу геологічного вивчення, порядку перегляду меж наукового полігону, механізму виділення перспективних частин та їх подальшого залучення до промислового користування надрами. Окремого правового врегулювання потребує питання використання корисних копалин, отриманих у процесі дослідницьких робіт.

Запропонована модель дозволяє розглядати науковий полігон не як територію, вилучену з подальшого господарського використання, а як етап послідовного геологічного вивчення надр, результати якого можуть бути використані для обґрунтованого та раціонального промислового освоєння їх перспективних частин.

Список використаних джерел:

1. Закон України № 2805-IX "Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо удосконалення законодавства у сфері користування надрами". Офіційний вісник України від 10.01.2023.

2. Кодекс України про надра. Відомості Верховної Ради України від 06.09.1994.

3. Закону України № 4154 -IX від 18.12.2024 «Про затвердження Загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 року». Офіційний вісник України від 21.04.2011.

4. Проєкт Закону №15454 «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо удосконалення механізмів надання та реалізації права на користування надрами шляхом проведення аукціону (електронних торгів) та на умовах угоди про розподіл продукції» від 30.07.2026 року

УДК 620.91:550.36:622.276

ВИКОРИСТАННЯ ГЛИБОКИХ СВЕРДЛОВИННИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ І ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ОСВОЄННЯ ГЕОТЕРМАЛЬНИХ РЕСУРСІВ НА ВИСНАЖЕНИХ НАФТОГАЗОВИХ ГОРИЗОНТАХ

Карпенко В.М., *к. тех. н., geotechnicalenergy@gmail.com;*
Худолей В.Ю.*, д. екон. н., професор, veronica.khudolei@istu.edu.ua;*
Нос О., *o.nos1@istu.edu.ua;* ***Пушкарев Є.М.,*** *y.pushkarev@istu.edu.ua;*
ЗВО «Міжнародний науково-технічний університет ім. академіка Юрія Бугая», м. Київ, Україна

Проаналізовано технологічні схеми повторного використання глибоких нафтогазових свердловин для вилучення геотермальної енергії з виснажених горизонтів. Систематизовано відкриті схеми з видобуванням і реінжекцією пластового теплоносія, спільний видобуток тепла з високообводнених свердловин, замкнені коаксіальні та U-подібні свердловинні теплообмінники, а також варіанти стимульованих геотермальних систем. Визначено склад основного підземного й наземного обладнання: насосно-компресорні труби, пакери, занурювальні насоси, теплообмінники, системи фільтрації та дозування інгібіторів, нагнітальне обладнання, теплові насоси або бінарні ORC-модулі, засоби автоматизації та моніторингу. Обґрунтовано, що ключовими критеріями ефективності є цілісність свердловини, температура, гідравлічна продуктивність, можливість реінжекції, ризики корозії та солевідкладення, а також близькість споживача. Запропоновано послідовність пілотного переобладнання свердловини з мінімізацією технічних та інвестиційних ризиків.

USE OF DEEP WELL ENERGY SYSTEMS AND TECHNOLOGIES FOR DEVELOPING GEOTHERMAL RESOURCES IN DEPLETED OIL AND GAS RESERVOIRS

Karpenko V., *Cand. Sci. (Eng.), geotechnicalenergy@gmail.com;*
Khudolei V., *Dr. Sci.(Econ.), Professor, veronica.khudolei@istu.edu.ua;*
Nos O., *o.nos1@istu.edu.ua;* ***Pushkarev Y.,*** *y.pushkarev@istu.edu.ua,*
Higher Educational Institution "Academician Yuriy Bugay International Scientific and Technical University", Kyiv, Ukraine

The paper analyzes technological schemes for repurposing deep oil and gas wells to recover geothermal energy from depleted reservoirs. The considered options include open-loop production and reinjection, geothermal use of high-water-cut wells, closed-loop coaxial and U-tube borehole heat exchangers, and selected enhanced geothermal system concepts. The main downhole and surface equipment is systematized: tubing, packers, submersible pumps, heat exchangers, filtration and chemical dosing units, reinjection equipment, heat pumps or binary ORC units, and digital monitoring systems. The decisive feasibility factors are well integrity, temperature, hydraulic productivity, reinjection capability, corrosion and scaling risks, and proximity to a heat consumer. A staged pilot conversion workflow is proposed to reduce technical and investment uncertainty before field-scale deployment.

Вступ. Виснаження нафтогазових покладів не означає втрати енергетичної цінності надр. Після суттєвого зниження видобутку вуглеводнів у пласті зберігається теплова енергія гірських порід і пластових вод, а на поверхні — частина свердловинної та промислової інфраструктури. У світовій практиці повторне використання нафтових і газових свердловин розглядається як один зі способів зменшення головних бар'єрів традиційних геотермальних проєктів — вартості та ризику нового глибокого буріння [1–6]. Для України цей напрям є особливо актуальним у старих нафтогазовидобувних районах, де наявні значний фонд свердловин і накопичена геолого-технічна інформація, придатні для оцінювання подальшого енергетичного використання [7,10,11].

Мета роботи. Метою є систематизація глибоких свердловинних енергетичних систем, обладнання та критеріїв їх вибору для освоєння геотермальних ресурсів виснажених нафтогазових горизонтів. Методичну основу становлять порівняльний аналіз технологій відкритого й замкненого теплообміну, огляд досвіду переобладнання вуглеводневих свердловин та адаптація цих рішень до умов зрілих нафтогазових родовищ [1–7].

Основні технологічні схеми. Одним із найпростіших сценаріїв є використання високообводнених горизонтів, на яких розташовані видобувні, розвідувальні, спостережні,

параметричні та нагнітальні свердловини [5]. Особливо перспективними є видобувні свердловини, з яких на поверхню разом із залишковими вуглеводнями надходить тепла пластова вода. Після відокремлення вуглеводневої фази тепло води відбирається через проміжний теплообмінник і використовується для опалення, технологічних потреб або як джерело низькопотенційного тепла для теплового насоса. Після охолодження вода повинна повертатися у продуктивний чи спеціально обраний поглинальний горизонт. Такий режим є перехідним між традиційною розробкою родовища та геотермальною експлуатацією [2,5].

Для повністю виснажених покладів можливе створення відкритої геотермальної системи з парою свердловин: видобувною та нагнітальною [2,4,5]. Її перевагою є безпосередній теплообмін циркулюючої води з породою пласта, а обмеженнями — потреба у достатній проникності, стабільній приймальності, контролі хімічного складу флюїду та запобіганні передчасному тепловому прориву між свердловинами. За недостатнього природного дебіту необхідні інтенсифікація припливу або інший технологічний підхід.

Замкнені свердловинні системи не потребують відбору пластового флюїду. Робоче тіло циркулює всередині коаксіального або U-подібного теплообмінника, встановленого в існуючому стовбурі. Такий варіант знижує ризики, пов’язані з мінералізованими водами, газопроявами та реінжекцією, однак обмежується теплопередачею через конструкцію свердловини та тепловим опором порід. Саме замкнені схеми широко досліджуються у чисельних моделях переобладнання покинутих свердловин [1,3,4,6].

Стимульовані геотермальні системи (EGS) доцільні там, де температура порід достатня, але природна проникність низька [1,3–5]. Їх створення пов’язане з гідравлічною стимуляцією, складнішим моніторингом і вищими геологічними та геомеханічними ризиками. Тому для виснажених родовищ на першому етапі доцільно віддавати перевагу об’єктам із підтвердженою природною проникністю або замкненим теплообмінним схемам. Пілотний проєкт має мінімізувати втручання у пласт і максимально використовувати наявні дані про колектор. Порівняльна характеристика свердловинних технологій за [1–6] наведена в таблиці.

Таблиця

Порівняння свердловинних технологій освоєння геотермального ресурсу виснажених родовищ

Схема	Основне обладнання	Переваги	Обмеження
Спільний видобуток вуглеводнів і тепла з пластовою водою	Занурювальний насос, сепарація, теплообмінник, фільтри, нагнітальна лінія	Використання діючої свердловини та існуючого потоку води	Залежність від обводненості, складу флюїду та режиму залишкового видобутку
Відкритий дублет	Видобувна і нагнітальна свердловини, насоси, теплообмінник, водопідготовка	Висока інтенсивність тепловідбору за добрих фільтраційних властивостей	Ризик теплового прориву, корозії, кольматації та погіршення приймальності
Замкнений коаксіальний/U-подібний контур	Внутрішньосвердловинний теплообмінник, циркуляційний насос, теплоізоляція	Відсутність контакту робочого тіла з пластовою водою; простіші екологічні умови	Обмежена теплопередача; чутливість до геометрії та теплових втрат
Стимульована система (EGS)	Нагнітання, стимуляція, моніторинг мікросейсмічності, виробничі свердловини	Можливість освоєння гарячих малопроникних порід	Підвищені капітальні витрати, геомеханічні та сейсмічні ризики

Підземне обладнання та підготовка свердловини. Переобладнання починається з підтвердження цілісності стовбура [1, 2, 4, 6]. Перевіряються обсадні колони, цементний камінь, гирлова арматура, інтервали перфорації, пакерні вузли та наявність заколонних

перетоків. За необхідності виконуються ремонтно-ізоляційні роботи, відновлення цементу, очищення від відкладень і заміна корозійно пошкоджених елементів. Для відкритої системи комплектування може включати насосно-компресорні труби, високотемпературний пакер, електровідцентровий або інший занурювальний насос, зворотні та запобіжні клапани, датчики тиску і температури. Матеріали добираються з урахуванням мінералізації, вмісту CO_2, H_2S та ризиків локальної корозії [4–6].

Наземна технологічна частина. Базовим елементом є проміжний теплообмінник, який відокремлює мінералізований геотермальний контур від чистого споживчого контуру. Перед теплообмінником доцільні фільтрація механічних домішок, контроль тиску й температури та, за результатами аналізу води, дозування інгібіторів солевідкладення і корозії [4–6]. Для прямого теплопостачання температура споживчого контуру повинна відповідати реальному графіку мережі; якщо ресурс має нижчий температурний рівень, застосовується тепловий насос. За вищих температур і достатньої стабільної витрати можливе встановлення бінарного модуля органічного циклу Ренкіна (ORC), але його доцільність слід визначати за чистою електричною потужністю після віднімання власних витрат на циркуляцію та охолодження [3,5,6].

Для нагнітальної частини критичними є фільтри, насос високого тиску, регулювальна та запобіжна арматура, вузол контролю приймальності і система хімічної підготовки [4–6]. У відкритому контурі небажане тривале зберігання гарячої пластової води у відкритих ємностях, оскільки зміна тиску та температури може провокувати дегазацію і випадіння солей. Тому процес має бути максимально замкненим, а режим тиску — керованим.

Автоматизація і моніторинг. Надійність геотермальної експлуатації значною мірою визначається кількістю та якістю даних [1,3,4]. На свердловинах доцільно встановлювати постійні датчики гирлового і вибійного тиску, температури та витрати, а на наземному контурі — контроль перепаду тиску на фільтрах і теплообміннику, електроспоживання насосів, температури подачі й звороту. Для довгих стовбурів перспективним є розподілений волоконно-оптичний температурний моніторинг. Дані збираються в SCADA-системі, де формуються тренди теплової продуктивності, ознаки забруднення теплообмінника, погіршення приймальності та відхилення від оптимального режиму.

Критерії техніко-економічної ефективності. Висока вибійна температура сама по собі не гарантує ефективності [1,2,4,7]. Для відкритої схеми визначальними є стабільна масова витрата, різниця температур між видобутим та реінжектованим теплоносієм і питома електрична потужність насосів. Для замкненої системи додатково важливі тепловий опір конструкції, довжина активної ділянки, теплоізоляція висхідного потоку та довгострокове охолодження прилеглих порід [3,4,6]. Оцінка повинна охоплювати капітальні витрати на ремонт свердловини й наземне обладнання, експлуатаційні витрати, ресурс насосів, хімреагенти, технічне обслуговування та можливу вартість теплової мережі. Найкращими кандидатами є свердловини, де зберігається достатня температура, підтверджена герметичність і є близький споживач тепла [1,2,7].

Послідовність пілотного переобладнання. На першому кроці проводять камеральний відбір свердловин за архівними даними: глибина, температура, конструкція, історія ремонтів, водонасиченість і статус ліквідації. Другий крок — інструментальна діагностика, термометрія, перевірка тиску та герметичності. Третій — відбір проб флюїду і лабораторне прогнозування корозії та солевідкладень. Четвертий — короткочасне випробування обраної схеми з вимірюванням теплової потужності, гідравлічних втрат і питомого енергоспоживання. П’ятий — оптимізація режиму та лише після цього довготривала дослідно-промислова експлуатація. Така послідовність узгоджується з сучасними оглядами, які наголошують на індивідуальній оцінці кожної свердловини та необхідності більшої кількості польових демонстрацій [1–4,6].

Наукова новизна та практичне значення. Запропоновано розглядати виснажений нафтогазовий горизонт як підготовлений елемент інтегрованої геотехнічної енергетичної системи (ІГЕС), у якій вибір обладнання підпорядкований не попередній технології

видобування вуглеводнів, а цільовому режиму довготривалого відбору геотермального тепла. Такий підхід узгоджується із сучасними дослідженнями щодо повторного використання нафтових і газових свердловин [1–6] та з авторськими моделями освоєння паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) фондом свердловин [10,11]. За результатами авторського моделювання [10,11] витрати на отримання однакової кількості теплової енергії для геотермальних ресурсів у два-три рази нижчі порівняно з спалюванням отриманих вуглеводневих ресурсів при однакових витратах на буріння свердловин глибинною до 4000м; накопичений видобуток тепла в моделі ГТР зростає лінійно з часом, тоді як видобуток вуглеводнів природно знижується. Для техніко-економічного управління такими проєктами доцільно використовувати відповідні економічні моделі управління [8,9]. Замкнені системи зменшують залежність від розташування родовищ, хімічного складу пластових вод [1,3,4,6], але є більш доступними і будуються автономно біля споживачів з мінімальними енергокомунікаціями. Але освоєння ГТР такими системами за технологією EGS [12], залежність від фізико-хімічного складу порід, повертається. Для старих родовищ України відкриті системи можуть продовжити життєвий цикл частини інфраструктури за умови підтвердженої цілісності свердловини, безпеки реінжекції та економічної доцільності [2,4,5,7].

Висновки. Для освоєння геотермальних ресурсів виснажених нафтогазових горизонтів можуть застосовуватися чотири основні класи рішень: використання тепла попутної пластової води, відкритий видобувно-нагнітальний дублет, замкнений свердловинний теплообмінник і стимульована геотермальна система [1–6]. Найменший технологічний ризик на початковому етапі мають об’єкти з наявним стабільним потоком теплої води або свердловини, придатні для замкненого контуру. Ключовими умовами є підтверджена цілісність свердловини, контроль корозії та відкладів, можливість безпечної реінжекції, мінімізація насосних витрат і наявність споживача тепла [1,2,4,7]. Першочерговим завданням для старих родовищ є створення програми скринінгу свердловин і реалізація польового пілота з повним теплогідравлічним та економічним моніторингом.

Список використаних джерел:

1. Jello J., Baser T. Utilization of existing hydrocarbon wells for geothermal system development: A review. Applied Energy. 2023. Vol. 348. Article 121456. DOI: 10.1016/j.apenergy.2023.121456.

2. Santos L., Dahi Taleghani A., Elsworth D. Repurposing abandoned wells for geothermal energy: Current status and future prospects. Renewable Energy. 2022. Vol. 194. P. 1288–1302. DOI: 10.1016/j.renene.2022.05.138.

3. Liu Z., Yang W., Xu K., Zhang Q., Yan L., Li B., Cai X., Yang M. Research progress of technologies and numerical simulations in exploiting geothermal energy from abandoned wells: A review. Geoenergy Science and Engineering. 2023. Vol. 224. Article 211624. DOI: 10.1016/j.geoen.2023.211624.

4. Davoodi S., Al-Shargabi M., Wood D. A., Slivkin S., Shishaev G., Rukavishnikov V. S. Geothermal energy recovery from abandoned petroleum wells: A review of the challenges and opportunities. Sustainable Energy Technologies and Assessments. 2024. Vol. 68. Article 103870. DOI: 10.1016/j.seta.2024.103870.

5. Wang K., Yuan B., Ji G., Wu X. A comprehensive review of geothermal energy extraction and utilization in oilfields. Journal of Petroleum Science and Engineering. 2018. Vol. 168. P. 465–477. DOI: 10.1016/j.petrol.2018.05.012.

6. Ashena R. Analysis of some case studies and a recommended idea for geothermal energy production from retrofitted abandoned oil and gas wells. Geothermics. 2023. Vol. 108. Article 102634. DOI: 10.1016/j.geothermics.2022.102634.

7. Rudakov D., Inkin O. An assessment of technical and economic feasibility to install geothermal well systems across Ukraine. Geothermal Energy. 2019. Vol. 7. Article 17. DOI: 10.1186/s40517-019-0134-7.

8. Карпенко В.М. Економічна, енергетична і екологічна безпека України в аспекті енергоінформаційного аналізу динаміки соціально-економічних систем / Економічна безпека держави і науково-технологічні аспекти її забезпечення: Зб. наук. праць за матеріалами міжнар. наук.-практ. семін., 21-22 жовт. 2016 р., Київ / наук. ред. С. О. Лук'яненко, Г. В. Крамарев. – К. : «МП Леся», 2016. — С.160-172.

9. Карпенко В. М., Стасенко В. М., Стасенко Р. В. Модель економічної системи управління прибутком нафтогазової компанії України в ринкових умовах. Нафтова і газова промисловість. 2010. № 2. С. 4–8. [Електронний ресурс]

10. Карпенко В. М., Стасенко В. М., Гришаненко В. П. Модель процесу освоєння паливно-енергетичних ресурсів свердловинами. Нафтогазова галузь України. 2014. № 2. С. 33–38. [Електронний ресурс]

11. Карпенко В. М., Стасенко В. М., Нікорюк М. С., Карпенко О. В. Модель процесу освоєння паливно-енергетичних ресурсів фондом свердловин. Сучасні проблеми математичного моделювання, прогнозування та оптимізації: тези доповідей VI Міжнародної наукової конференції. Кам'янець-Подільський: Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка, 2014. С. 70–72. [Електронний ресурс]

12. GeneSys Hannover (геотермальная скважина Groß Buchholz Gt1). https://www.herrenknecht-vertical.com/refereneces/geothermal-energy

УДК 620.91:550.36(477.8)

ОЦІНЮВАННЯ ПЕРСПЕКТИВ ОСВОЄННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ ГЛИБОКИМИ СВЕРДЛОВИНАМИ У ЗАХІДНОМУ РЕГІОНІ УКРАЇНИ

Карпенко В.М., *к. тех. н., geotechnicalenergy@gmail.com;*
Стефурак Р.І.*, к. тех. н., доцент, r.stefurak@istu.edu.ua;*
Чеботаєв Г.В., *h.chebotaiv1@istu.edu.ua;*
Вакульчук С.С., *s.vakulchuk1@istu.edu.ua;*
ЗВО «Міжнародний науково-технічний університет ім. академіка Юрія Бугая», м. Київ, Україна

Розглянуто передумови освоєння глибинних енергетичних ресурсів Західного регіону України із застосуванням існуючих і нових глибоких свердловин. Основну увагу приділено геотермальному потенціалу Закарпатського та Передкарпатського прогинів, Карпатської складчастої області й суміжної Волино-Подільської плити, а також можливості повторного використання нафтогазових свердловин. Запропоновано багатокритеріальний підхід до попереднього відбору об'єктів, що враховує температуру та глибину, тепловий потік, дебіт і приймальність пластів, літологічну екранованість, технічний стан свердловин, мінералізацію флюїдів, відстань до споживача та потребу в реконструкції. Показано доцільність поетапного переходу від інвентаризації фонду свердловин і повторної термометрії до пілотних циркуляційних випробувань та техніко-економічної оцінки. Такий підхід дає змогу сформувати портфель пріоритетних проєктів прямого теплопостачання, теплових насосів і, за достатнього температурного потенціалу, бінарної генерації.

ASSESSMENT OF THE PROSPECTS FOR DEVELOPING ENERGY RESOURCES WITH DEEP WELLS IN THE WESTERN REGION OF UKRAINE

Karpenko V., *Cand. Sci. (Eng.), geotechnicalenergy@gmail.com;*
Stefurak R., *Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, r.stefurak@istu.edu.ua;*
Chebotiev H., *h.chebotaiv1@istu.edu.ua;*
Vakulchuk S., *s.vakulchuk1@istu.edu.ua,*
Higher Educational Institution «Academician Yuri Bugay International Scientific and Technical Sciences», Kiev, Ukraine

The paper considers the prerequisites for developing deep subsurface energy resources in Western Ukraine using existing and newly drilled deep wells. The focus is on the geothermal potential of the Transcarpathian and Precarpathian depressions, the Carpathian fold belt and the adjacent Volyn-Podillia area, together with the possible repurposing of oil and gas wells. A multi-criteria screening approach is proposed, including temperature and depth, heat flow, reservoir flow rate and injectivity, lithological sealing, well integrity, fluid mineralization, distance to heat consumers and required workover. A staged workflow is recommended: well inventory, temperature logging and integrity assessment, pilot circulation tests, thermal-hydraulic modelling and techno-economic evaluation. The approach can support a prioritized portfolio of projects for direct heat use, heat-pump-assisted systems and, where the temperature level is sufficient, binary power generation.

Вступ. Підвищення стійкості регіональних систем теплопостачання та скорочення залежності від викопного палива актуалізують використання глибинного тепла надр як місцевого енергетичного ресурсу. Національний план дій з відновлюваної енергетики на період до 2030 року відносить Передкарпатський і Закарпатський прогини до територій зі сприятливими геотермічними умовами [1]. Захід України водночас має тривалу історію розвідки та розробки нафти і газу; у межах Передкарпатського прогину зосереджена значна частина карпатської нафтогазоносності [4]. Поєднання геотермального потенціалу з уже створеною підземною інфраструктурою дає підстави розглядати повторне використання частини нафтогазових свердловин як окремий напрям енергетичного (геотермального) освоєння надр [2, 5, 6].

Мета та методи. Метою роботи є формування методичного підходу до оцінювання перспектив освоєння глибинних енергетичних ресурсів Західного регіону України з використанням глибоких свердловин. Виконано аналіз опублікованих геотермічних та гідрогеологічних даних, узагальнення досвіду свердловинних геотермальних систем і багатокритеріальний відбір об'єктів [5, 6]. На ранній стадії проєкту пропонується не

зводити оцінку лише до температури на вибої: вирішальними є сукупність теплових, гідродинамічних, технічних, екологічних та інфраструктурних параметрів.

Геотермічні передумови Західного регіону. Теплове поле Українських Карпат є неоднорідним і контролюється тектонічною будовою. За узагальненнями Р. Кутаса, щільність теплового потоку в українському секторі Карпат змінюється у широкому діапазоні приблизно від 35 до 130 мВт/м² [3]. Найвиразніші позитивні аномалії пов'язані із Закарпатським прогином і впливом Паннонського басейну, тоді як частина Передкарпаття та зовнішніх Карпат характеризується нижчими значеннями [3, 7]. Сучасне зонування геотермальних умов України вказує для Закарпатського прогину на теплові потоки близько 70–130 мВт/м² та геотермічні градієнти орієнтовно 5–8 °С/100 м; у Передкарпатському прогині геотермічний градієнт становить приблизно 2,0–4,9 °С/100 м, а тепловий потік зростає орієнтовно від 50 до 75 мВт/м² у напрямку Карпатської складчастої області [6, 7]. Такі контрасти означають, що регіональна карта є лише першим фільтром, а рішення щодо конкретної свердловини має спиратися на фактичні температурні криві, історію освоєння та стан обсадних колон.

Для західної частини України принципово важливо розрізняти три групи ресурсів. Перша – природні термальні води проникних водоносних горизонтів, які можуть експлуатуватися відкритою схемою «видобувальна свердловина – поверхневий теплообмінник – нагнітальна свердловина». Друга – тепло гірських порід, яке може вилучатися замкненим свердловинним коаксіальним теплообмінником без підйому пластового флюїду [1, 5, 6]. Третя – геотермальний потенціал діючих, малодебітних, виснажених або техногенно змінених нафтогазових свердловин і родовищ, де частина капітальних витрат уже була понесена під час попереднього циклу розробки [2, 4, 6]. Виконані в Україні дослідження показують, що свердловинні геотермальні системи з видобуванням і реінжекцією можуть бути технічно придатними для широкого діапазону гідрогеологічних умов, але їхня результативність визначається глибиною, дебітом, температурою, енергоспоживанням насосів і довгостроковим охолодженням пласта [5].

Критерії відбору об'єктів. Для попереднього скринінгу доцільно застосовувати послідовність «ресурс – колектор – свердловина – наземна інфраструктура – споживач» [5, 6]. На ресурсному рівні оцінюють температуру, геотермічний градієнт, тепловий потік, проникність, пластовий тиск, очікуваний дебіт, приймальність колектора та наявність літологічного екрана. На рівні свердловини перевіряють герметичність обсадних колон і цементного каменю, стан гирлового обладнання, діаметр і профіль стовбура, наявність корозії та відкладень, можливість спуску насосного або теплообмінного обладнання. На поверхні враховують доступ до електропостачання, місце для теплообмінників і насосної, можливість реінжекції, відстань до теплових мереж або промислового споживача. Економічний критерій має базуватися не лише на валовій тепловій потужності, а на корисній енергії після віднімання витрат на підйом і закачування теплоносія [5]. Орієнтовні напрями використання глибоких свердловин для західної частини України за [1, 3-7] наведено в таблиці.

Таблиця

Орієнтовні напрями використання свердловин у Західному регіоні України

Зона/тип об'єкта	Ключова перевага	Доцільна технологія	Головний фактор ризику
Закарпатський прогин	Підвищений геотермічний градієнт і тепловий потік	Пряме теплопостачання; свердловинний дублет; за вищих температур — бінарний цикл	Мінералізація флюїду, корозія, локальна гідрогеологічна неоднорідність
Передкарпатський прогин і старі нафтогазові площі	Розвинена свердловинна та промислова інфраструктура	Переобладнання свердловин; відкриті або замкнені системи; теплові насоси	Технічний стан старих свердловин, дебіт і приймальність
Волино-Подільська плита та ділянки з нижчими температурами	Близькість до населених пунктів і можливість низькотемпературного теплозабезпечення	Теплові насоси, каскадне використання тепла	Нижчий температурний потенціал і більша частка електроспоживання

Проєктний підхід до повторного використання свердловин. Найдоцільнішою є поетапна модель з послідовним зменшенням невизначеності. На першому етапі формується електронний реєстр свердловин із координатами, глибиною, конструкцією, температурними вимірами, даними про пластові флюїди та поточний статус. На другому етапі проводиться промислово-технічний аудит: контроль герметичності, повторна термометрія після стабілізації, перевірка цементного кільця, оцінка можливості ремонту. Третій етап – передпроєктні дослідження: короткочасні гідродинамічні та циркуляційні випробування з визначенням фактичного дебіту, приймальності й температурного зниження. Лише після цього на проєктному етапі слід виконувати детальне теплогідравлічне моделювання, вибирати наземну схему використання тепла, складати ТЕО і графік робіт [5, 6].

Перевага такого підходу полягає в тому, що він дозволяє відсіяти свердловини, які мають привабливу глибину, але незадовільний технічний стан, недостатній дебіт або тепловіддачу, чи інфраструктурну невідповідність. І навпаки, свердловина з помірною температурою може бути економічно цікавою, якщо поруч розташований цілорічний споживач низькопотенційного тепла – комунальна котельня, теплиця, сушильний комплекс, рекреаційний чи промисловий об’єкт. За таких умов пряме використання тепла або теплонасосна схема часто мають кращі передумови, ніж виробництво електроенергії [5].

Інфраструктурні та екологічні аспекти. Високомінералізовані пластові води не повинні скидатися у поверхневі водні об’єкти; тому для відкритих геотермальних систем базовою має бути реінжекція охолодженого теплоносія у відповідний горизонт через нагнітальну свердловину [5]. Це одночасно зменшує екологічне навантаження та підтримує пластовий тиск. Для свердловин старого фонду обов’язковими є оцінка ризику міжколонних перетоків, контроль газопроявів і прогноз сумісності вод під час закачування [5, 6]. У замкнених системах ризик контакту з пластовою водою нижчий, але продуктивність сильніше залежить від теплопровідності порід, геометрії теплообмінника та теплових втрат уздовж стовбура [5].

Наукова новизна та практичне значення. Запропоновано розглядати Західний регіон не як єдину геотермальну територію, а як сукупність різнотипних геотермальних плеїв, для яких оптимальні технології різняться. Такий підхід узгоджується із сучасним зонуванням України за типами геотермальних систем [6] та дозволяє поєднати регіональні геолого-геофізичні характеристики з інвентаризацією конкретного фонду свердловин. Практичним результатом має стати ранжований перелік об’єктів для пілотних проєктів із визначенням технологічного сценарію, очікуваного теплового навантаження, обсягу ремонтно-відновлювальних робіт і ключових ризиків.

Висновки. Західний регіон України має диференційований, але значний потенціал освоєння глибинного тепла [1, 3, 6, 7]. Найсприятливіші температурні умови характерні для Закарпатського прогину, тоді як Передкарпаття має додаткову перевагу у вигляді історично сформованої нафтогазової інфраструктури та фонду глибоких свердловин [4, 6]. Рішення про переобладнання повинно прийматися для кожної свердловини окремо після підтвердження температури, герметичності, дебіту або тепловіддачі, можливості реінжекції та наявності споживача. Для стартового етапу доцільно створити регіональний цифровий реєстр кандидатних свердловин і реалізувати декілька демонстраційних проєктів різних типів – відкритий дублет, замкнений свердловинний теплообмінник і теплонасосну схему. Отримані дані стануть основою для масштабування технологій і залучення інвестицій.

Список використаних джерел:

1. Про затвердження Національного плану дій з відновлюваної енергетики на період до 2030 року та плану заходів з його виконання: розпорядження Кабінету Міністрів України від 13.08.2024 № 761-р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/761-2024-%D1%80#Text (дата звернення: 26.09.2026).
2. Карпенко В. М. Економічна, енергетична і екологічна безпека країн ЄС на основі передових енергоінформаційних технологій. Цивілізація. Прогрес. Нові виміри: зб. матеріалів міждисциплінар. наук.-практ. конф., Київ, 15 червня 2018 р. Київ: Юдіна Л. І., 2018. ISBN 978-617-7698-00-4. URL: http://futurolog.com.ua/publish/10/Zbirnyk.pdf (дата звернення: 26.09.2026).
3. Kutas R. I. Thermal flow and geothermic models of the earth's crust of the Ukrainian Carpathians. Geofizicheskiy Zhurnal. 2014. Vol. 36, No. 6. P. 3–27. DOI: 10.24028/gzh.0203-3100.v36i6.2014.111016. URL: https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v36i6.2014.111016 (дата звернення: 26.09.2026).
4. Kutas R. I. Deep degasion and oil-and-gas containment of the Eastern (Ukrainian) Carpathians: geodynamic and geothermal aspects. Geofizicheskiy Zhurnal. 2021. Vol. 43, No. 6. P. 23–41. DOI: 10.24028/gzh.v43i6.251551. URL: https://doi.org/10.24028/gzh.v43i6.251551 (дата звернення: 26.09.2026).
5. Rudakov D., Inkin O. An assessment of technical and economic feasibility to install geothermal well systems across Ukraine. Geothermal Energy. 2019. Vol. 7. Article 17. DOI: 10.1186/s40517-019-0134-7. URL: https://doi.org/10.1186/s40517-019-0134-7 (дата звернення: 26.09.2026).
6. Barylo A., Liventseva H. Preliminary zoning of the territory of Ukraine based on the geothermal play types. Geothermal Energy. 2025. Vol. 13. Article 39. DOI: 10.1186/s40517-025-00364-3. URL: https://doi.org/10.1186/s40517-025-00364-3 (дата звернення: 26.09.2026).
7. Majcin D., Kutas R., Bilčík D., Bezák V., Korchagin I. Thermal conditions for geothermal energy exploitation in the Transcarpathian depression and surrounding units. Contributions to Geophysics and Geodesy. 2016. Vol. 46, No. 1. P. 33–49. DOI: 10.1515/congeo-2016-0003. URL: https://doi.org/10.1515/congeo-2016-0003 (дата звернення: 26.09.2026).

УДК 551.761(262.5+262.54)

РОЗВІДКА НАФТИ І ГАЗУ В ЧОРНОМУ МОРІ: ПРОБЛЕМИ, УРОКИ ТА ПОСТАТІ

Кичка О.А., *kitchka@ukr.net;*
Повноважний представник AAPG в Україні, Київ, Україна,

Систематична морська розвідка вуглеводнів в Чорному морі розпочалася на Одеському шельфі наприкінці 1960-х років і увінчалася відкриттям першого промислового газового родовища – Голіцинського (1975 р.) – в українських водах. Пізніше відкриття на шельфі були зроблені в румунських (1980 р.), болгарських (1993 р.) та турецьких (2004 р.) водах. Після двох десятиліть розвідки суббасейни Істрія, Варненської затоки та Акчакоджа, а також Прикерченський шельф в Україні (відкриття Субботинського нафтового родовища, 2006 р.) поповнили портфель видобутку в Чорному морі новими ресурсами, однак ці відкриття вважалися порівняно невеликими порівняно з їхніми світовими аналогами. У Чорному морі все ще існують великі перспективи знайти другу нафтогазову провінцію на кшталт Північного моря за межами т. з. «евксинського порогу» завдяки впровадженню новітніх технологій глибоководного буріння та видобутку. В 2012 році в румунському секторі за допомогою бурового судна «Deepwater Champion» 5-го покоління було відкрите газове родовище «Доміно» обсягом близько 3,5 трлн куб. футів. У 2021 році компанія TPAO, використовуючи власну бурову флотилію, зробила знакове відкриття гігантського кластера газових родовищ «Сакарія+» (на сьогодні – 785 млрд куб. м), що надало нового імпульсу розвідці в цьому останньому малодослідженому басейні Європи. За цими розвідувальними зусиллями та відкриттями стоїть ціла плеяда талановитих дослідників.

OIL AND GAS EXPLORATION IN THE BLACK SEA: CHALLENGES, LESSONS, AND PERSONALITIES

Kitchka O.*, kitchka@ukr.net;*
AAPG Team Leader for Ukraine, Kyiv, Ukraine

Systematical offshore hydrocarbon exploration started on the Odessa Shelf in the late 1960's, and it was crowned with the discovery of the first commercial gas field, Golitsynske (1975), in Ukrainian waters. Later, discoveries on the shelf followed in the Romanian (1980), Bulgarian (1993) and Turkish (2004) waters. After two decades of exploration, the NW Inner Shelf, Histria, Varna Bay and Akçakoca sub-basins, as well as the Peri-Kerch offshore areas, Ukraine (Subbotinske oilfield discovery, 2006) have delivered new reserves to the production portfolio in the Black Sea, but these discoveries were considered smallish compared to their global analogues. There is still a great promise to find in the Black Sea a second North Sea petroleum province, beyond the so-called Euxinic threshold with the advent of state-of the-art deepwater drilling development. The discovery of the ca 3.5 TCF Domino gas field by the 5th generation Deepwater Champion drillship in the Romanian sector was made in 2012. In 2021, TPAO, employing their own drilling fleet, have made the landmark discovery of the giant Sakarya+ gas field cluster (785 Bcm to date), which gave new momentum to explore in this underexplored basin next to Europe. The constellation of bright researchers is behind of those exploration efforts and discoveries.

Розвідка нафти і газу в мегабасейні Чорного моря демонструє дуже повчальну історію. Це регіон, де масштабний грязьовий вулканізм було детально досліджено як на суші, так і в морі, а також де вперше в історії було взято проби гідратів метану з глибоководних морських відкладів. Чорне море є унікальним регіоном для людства, оскільки, ймовірно, саме звідси походить біблійна легенда про Великий потоп. У стародавніх літописах IV та V століть н. е. вже згадується «грецький вогонь», який візантійський флот застосовував проти ворогів. Нафта для цієї легкозаймистої суміші походила з поверхневих витоків на Керченському та Таманському півостровах.

Систематична морська розвідка вуглеводнів розпочалася на Одеському шельфі наприкінці 1960-х років і увінчалася відкриттям першого промислового газового родовища — *Голіцинського* (1975 р.) — в українських водах. Пізніше відкриття на шельфі були зроблені в румунських (1980 р.), болгарських (1993 р.) та турецьких (2004 р.) водах. Після двох десятиліть розвідки на *Північно-західному шельфі*, суббасейнах *Істрия*, *Варненської затоки* та *Акчакоджа*, а також *Прикерченському шельфі* в Україні (відкриття *Субботінського* нафтового родовища, 2006 р.) поповнили портфель видобутку в Чорному морі новими ресурсами, однак ці відкриття вважалися порівняно невеликими порівняно з їхніми світовими аналогами. У Чорному морі все ще існують великі перспективи знайти

другу нафтову провінцію на зразок Північного моря за межами «евксинського порогу» завдяки впровадженню новітніх технологій глибоководного буріння та видобутку.

В 2012 році в румунському секторі за допомогою бурового судна *Deepwater Champion* 5-го покоління було відкрите газове родовище *Доміно* обсягом близько 3,5 трлн куб. футів. Усі інші розвідувальні роботи, проведені у турецьких, болгарських та російських водах (2010–2018 рр.) із застосуванням найсучасніших бурових установок та суден, не дали комерційних відкриттів через специфічний комплекс геологорозвідувальних ризиків, які необхідно було, які зрозумілими стали лише тепер, врахувати. Регіональні програми сейсмічних розрізів (*GWL, ION Geophysical*) надали новітні дані глибинної 2D сейсморозвідки з довгим виносом, які згодом були інтегровані з дослідженнями газогідратів (Бременським *MARUM* тощо). Нарешті, у 2019 році компанія *Shearwater GeoServices* виконала 3D-зйомку площею 6200 км² на замовлення турецької національної нафтової компанії, *TPAO*, і її фахівці виявили на 3D-зображеннях низку позитивних структур у межах міо-пліоценового комплексу дунайського підводного конуса виносу. У 2021 році компанія *TPAO*, використовуючи власний бурову флотилію, зробила знакове відкриття гігантського кластера газових родовищ *Сакарія*+ (на сьогодні — 785 млрд куб. м), що надало нового пошукового імпульсу в цьому останньому малодослідженому нафтогазовому басейні Європи.

За всіма цими розвідувальними зусиллями та відкриттями стоїть чимала плеяда талановитих дослідників.

Етапи розвідки вуглеводнів у мегабасейні Чорного моря. В історії освоєння нафтогазового потенціалу басейну можна виділити сім етапів (Kitchka, 2024, розташування ключових відкриттів показано на рис. 1):

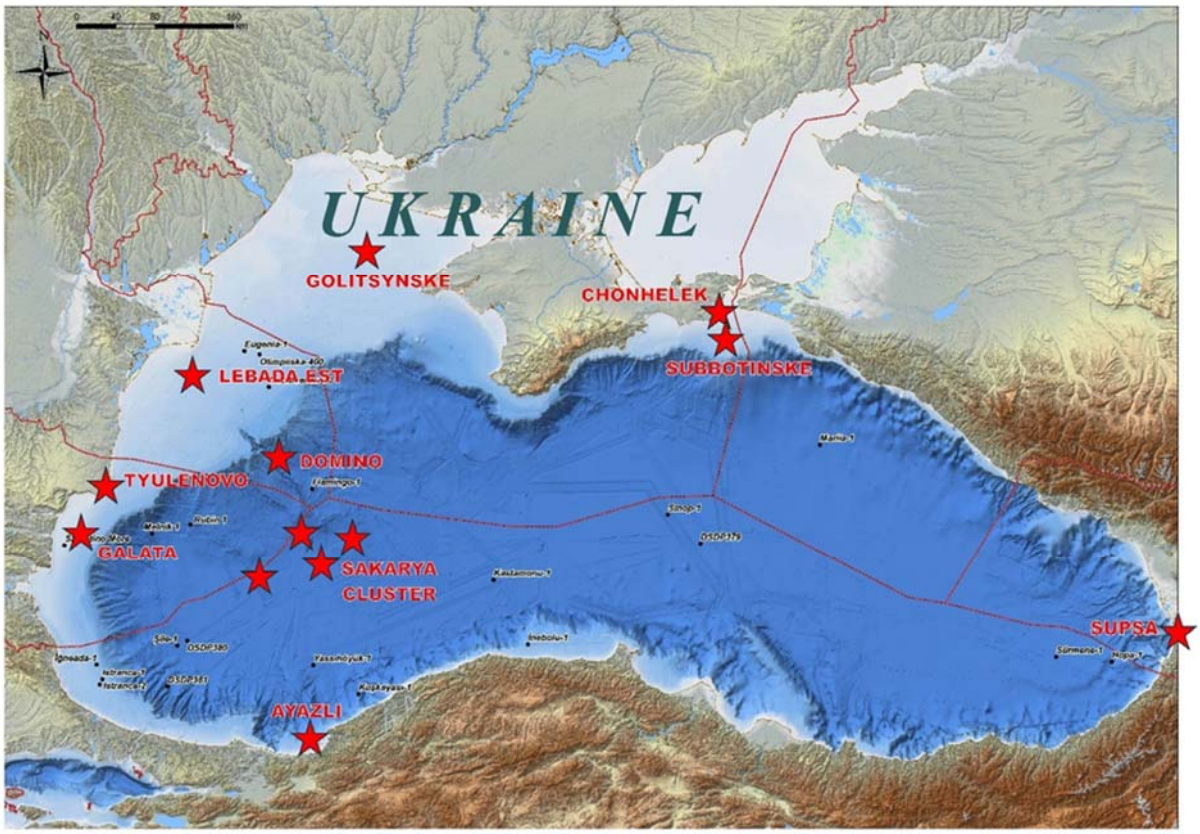


Рис. 1. Розташування ключових відкриттів родовищ нафти й газу в басейні Чорного моря

• IV–V ст. н. е. – **Доіндустріальний період розвідки**: «грецький вогонь» для візантійського флоту – стародавній напалм

• 1869 – 1939 рр. – **На зорі промислового революції**: *Ширакі – Чонгелек* / *Приозерне – Омпаремі*, використання поверхневих нафтопроявів для пошукових робіт

• 1939 – 1974 рр. – Відкриття поблизу берега: *Супса – Тюленово*, розвиток антиклінальної парадигми пошукових робіт

• 1975 – 2004 – Перші відкриття на шельфі: *Голіцинське – Лебада Східна – Галата*, домінування концепції «чотиристороннього замикання»

• 2004 – 2010 – Стадія розвідувального «плато» на шельфі: *Аязли– Ази – Каварна Східна*, основні відкриття у мілководних районах та розвиток концепції турбідитових колекторів

• 2010 – 2021 – Великі надії проти великих невдач при виході на глибоководдя: від свердловин *Синоп-1* через *Доміно-1* до глибоководної свердловини *Марія-1*, друге видання антиклінальної парадигми з використанням 3D-сейсміки

• З 2021 року – Нова ера біогенного газу: гігантські відкриття біогенного газу *Сакарії* свердловиною *Туна-1* та стратегія розвідки підводних конусів виносу.

Доіндустріальний період або візантійський «напалм» Видобуток нафти в північній частині Чорноморського регіону розпочався понад тисячу років тому, що підтверджує візантійський імператор Костянтин VII Багрянородний (905 – 959). У своєму трактаті «*De administrando imperio*» він описав 14 джерел природної нафти на околицях *Таматархи* (пізніше — Тмутаракань).

Візантійці зазвичай з великою ефективністю застосовували цю суміш в морських битвах, оскільки вона продовжувала горіти, плаваючи на воді. Видобуток нафти в Керченському регіоні здійснювався ще в IV–V століттях н.е., про що свідчать, зокрема, археологічні розкопки. Так, у 1939 році під час розкопок стародавнього міста *Тіріmакі* було знайдено чудово збережену глиняну амфору IV століття н. е., наповнену нафтою, яка завдяки герметичній кришці зберіглася в посудині у рідкому стані. Хімічний аналіз показав, що нафта походить із родовища *Чонгелек*, розташованого за 20 км на південний захід від міста Керч (Haldon et al., 2006); див. фото поблизу цього родовища на рис. 2.



Рис. 2. Спектрометрична зйомка біля природного витоку нафти, Керченський півострів, 2011 р.

На зорі промислової революції. У 1864 році академіка Грегора фон Гельмерсена було відправлено до Криму та на Кавказ для інспектування розвідувальних робіт з пошуку нафти. У його геологічному звіті, опублікованому в журналі «*Гірничий*», повідомляється, що на родовищі *Чонгелек* (нині *Приозерне*) у свердловині, пробуреній на глибину 117,6 м, було виявлено нафтовий пласт.

Наявність та видобуток вуглеводнів на суші Грузії відомі з давніх часів. Перші розвідка та видобуток нафти датуються початком XIX століття, а задокументований видобуток ведеться з 1930 року. У 1869 році Вальтер Сіменс, прусський підприємець та бізнесмен, отримав ліцензії на родовища *Ширакі, Мірзаані* та *Елдарі* (південний схід Грузії, суббасейн *Картлі-Кура*, пов'язаний із *Південно-Каспійським* басейном). Перші свердловини були пробурені тут на глибину від 15 до 38 м, а початкова дебіти становили приблизно 10–17 барелів на добу.

Прибережні відкриття. Відкриття родовища *Супса* в суббасейні Ріоні (*Гурійському)*, що входить до складу мегабасейну Чорного моря, датується 1880-ми роками,

де нашаровані міоценові (сарматські) осадові горизонти залягають в антиклінальній пастці, утвореній переднім краєм північної вергентності Аджара-Тріалетського насувно-складчастого поясу. Промислова експлуатація нафтового родовища *Супса-Омпареті* була відновлена у 1939 році.31 травня 1951 року зі структурної свердловини № 51 на склепінні *Тюленово*, під час проходки покрівлі відкладів валанжинського ярусу, стався фонтан газу та нафти. Було відкрито водоплаваючий нафтовий поклад із видобувними запасами нафти оціненими згодом в 5 мільйонів тон. Це стало початком історії нафтової промисловості Болгарії. Сьогодні там встановлено пам'ятник першовідкривачам.

Перші морські відкриття. Відкриття *Голіцинського* газоконденсатного родовища в 1975 р. на північно-західному шельфі ознаменувало початок промислової розробки вуглеводневих ресурсів у басейні Чорного моря. Це відбулось всього через рік після початку видобутку на родовищі *Фортіс* у Північному морі. Саме розвідувальна свердловина *Голіцинська-7* виявила перший продуктивний газовий майкопський колектор на двосклепіневій антикліналі Голіцинської структури, де згодом глибше, буле виявлені основні газові поклади в нижньому палеоцені.

19 серпня 1976 року перша морська свердловина *Овідіу Ест-1* була пробурена платформою *Глорія* на глибині моря 86 м (за участю фахівців *ДГП Чорноморнафтогаз*) у суббасейні *Істрія* до глибини 5006 м, що дало прояви газу у верхньому міоцені.

У 1980 році під час завершення буріння розвідувальної свердловини *Лебада Східна-8*, яка зрештою досягла глибини 3542 метрів, були отримані лише ознаки наявності нафти та газу, але фактично це стало відкриттям першого румунського морського родовища *Лебада Східна* з нафтовим фонтаном наступного року.

Газове родовище *Галата* було відкрито компанією *Тексако* та її партнерами по спільному підприємству у прибережній зоні Болгарії в 1993 році в калькаренітовому колекторі маастрихтського — пізньопалеоценового віку.

Досягнення розвідувального «плато» на шельфі У 2004–2009 рр. було відкрито групу невеликих газових родовищ у мілководній зоні вузького шельфу на північний схід від Стамбульської агломерації – *Аязли, Аязли-Східне, Аккая, Акчакоджа, Аязли Західне, Байханли, Алапли* (компанії *Toreador Resources* та Trillion Energy).

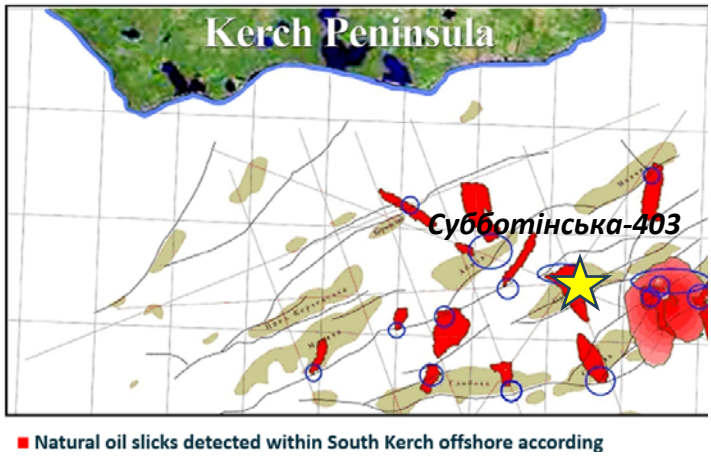


Рис. 3. Природні нафтові сліки на Південнокерченському шельфі за інтерпретацією знімків of ERS SAR 1992-2003рр. Зірка - положення св. Субботінська-403, першовідкривальниця родовища

Історія відкриття нафтового родовища – першого промислового скупчення вуглеводнів у Східно-Чорноморському басейні – була дуже повчальною, оскільки автор дещо займався цим питанням: його незалежний опублікований позитивний прогноз був зроблений за рік до випробувань на цій структурі (Kitchka and Kostyuchenko, 2004, рис. 3). Загальновизнаним було те, що ризики були високими: якщо ми отримаємо «суху» свердловину, це могло б на довгі роки поставити хрест на нашій розвідувальній діяльності в районі Східно-Чорноморського басейну. Зрештою, зірки зійшлися, і в серпні 2004 року

було розпочато буріння параметричної свердловини Субботінська-403 з розвідувальними цілями. Однак виникла проблема, оскільки початкова інтерпретація каротажних даних заперечувала наявність порогового насичення пластів вуглеводнями, тому передбачалося ліквідувати свердловину.

Незважаючи на це, геологорозвідувальна команда компанії *ДП НаукаНафтогаз* провела переоцінку каротажних і кернових даних і в лютому 2006 року дала зелене світло на обсадження та випробування цієї свердловини, що призвело до відкриття нафтового родовища із сумарною товщиною нафтонасичених пластів у 380 м.

Особливе значення мало відкриття компанією *Мелроуз Рісосиз* у 2008 році газових родовищ *Каварна Східна* та *Каліакра* у палеоценових відкладах на шельфі Болгарії.

Великі надії проти великих невдач при виході на глибоку воду. Протягом наступного десятиліття, незважаючи на те, що нафтові системи вже були попередньо описані та змодельовані, затримка великих відкриттів була зумовлена загальноприйнятою практикою спрямовувати основні розвідувальні зусилля на пошук термогенного газу та нафти. Дошкульна серія невдалих глибоководних розвідувальних свердловин, наприклад *Хопа-1*, *Синоп-1*, *Яссихоюк-1*, *Сюрмене-1*, *Ігнеада-1*, *Істранджа-1*, *2*, Ліманкой-1, 2, Кушкаяши-1, *Кузей-Чіаде-1*, *Кастамону-1*, *Шиле-1*, *Марія-1* тощо, була дещо скомпенсована відкриттям у 2012 році великого газового родовища *Доміно* (також двосклепіневої структури, як Голіцинська) у румунських водах у межах периметру ліцензійного блоку *Нептун*.

Нова ера біогенного газу. Дані сейсмогеологічного проєкту *Black SeaSPAN*, включені до бази даних компанії *ION Geophysical*, показали ледь помітний, але значний антиклінальний перегин із неглибокозалягаючою «яскравою плямою» в північно-західній частині турецького сектора (Graham et al., 2013). Крім того, довгострокові міжнародні дослідження виявили тут поклади метан-гідратів, пов'язані з палеодунайським глибоководним конусом виносу, що супроводжуються чіткими (іноді множинними) відбиттями, що імітують повторення морського дна, *BSR* (Popescu et al., 2004).

Після цього настала ще одна кількарічна перерва, під час якої судно *Барбарос Хайреддін-паша* провело додаткові сейсмічні дослідження у турецьких водах. Зазначені вище зусилля та дослідження дали багато нових знань про будову та еволюцію басейну. Таким чином, після тривалих пошуків у турецькому секторі нарешті було виявлено значні запаси сухого газу (Nolan, 2023). Геологічні запаси (2P) родовищ *Сакарія, Амасра Північна, Чайджума* та *Гьоктепе* офіційно становлять 375, а неофіційні оцінки сягають 405-510 млрд куб. м біогенного газу. Свердловини підключені до підводної видобувної системи, з'єднаної з наземним газопереробним заводом у Фільосі. У 2028 році третій етап розробки передбачатиме введення в експлуатацію нової спеціалізованої плавучої видобувної установки, *FPU,* з'єднаної з 27 свердловинами на родовищах *Сакарія* та *Амасра Північна* за допомогою нового магістрального трубопроводу, що забезпечить значну частину загального внутрішнього попиту Туреччини у природному газі.

Значення газогідратів Чорного моря для промисловості та фундаментальної науки. У просторовому плані кластер газових родовищ *Сакарії* збігається з родовищем газогідратів (Hakki та Merey, 2023). Зазначу, що вперше в історії зразки метанових гідратів були відібрані з глибоководних морських відкладів саме в Чорному морі в 1972 році (Єфремова та Жижченко, 1974), а згодом їх досліджував український професор Юрій Макогон, автор найвідоміших праць з теорії утворення газогідратів (Макогон, 2015). Крім того, множинні відбиття, що імітують морське дно, *BSRs*, вперше були виявлені саме в Чорному морі, на сейсмічних профілях біля узбережжя Румунії, а згодом – у водах України, Туреччини та Росії (Kitchka et al., 2023).

Було висловлено припущення, що ці додаткові BSR, найімовірніше, є реліктами колишніх положень підошви зони стабільності газогідратів, *BGHSZ*, що відповідають періодам стабільного холодного клімату (Popescu et al. 2006). Як відомо, утворення газогідратів супроводжується виділенням тепла, тоді як їх розпад – поглинанням тепла,

тому ця особливість може підтримувати самодостатній процес їх виникнення завдяки зміні процесів розкладання та утворення гідратів при відповідних змінах рівня моря / клімату.

На завершення слід зазначити, що яскрава плеяда дослідників, геологів, геофізиків та нафтовиків – зоряний склад славетних вчених, таких як Андрусов, Кобальческу, Голіцин, Шмідт та інші – дала свої імена перспективним структурам та вуглеводневим родовищам у басейні (Kitchka, 2024). В переліку структурних елементів та родовищ ви також можете знайти історичних постатей, зокрема українських гетьманів, військово-морських командирів, натуралістів, колишніх радянських геологів та дослідників, які вивчали Чорне море в минулому.

Список використаних джерел:

Graham R., Kaymakci N., Horn B., 2013. Revealing the Mysteries of the Black Sea. GeoExPro Magazine, October Issue - https://geoexpro.com/revealing-the-mysteries-of-the-black-sea.

Hakki A. and Merey S., 2023. The effect of gas production from deeper conventional gas reservoirs on shallower gas hydrate layer stability: A case study in the conditions of the Sakarya gas field, Western Black Sea. Journal of Natural Gas Science and Engineering. Volume 94, https://doi.org/10.1016/j.jngse.2021.104103

Haldon J., Lacey A., Hewes C., 2006. 'Greek fire' revisited: recent and current research. In: Byzantine Style, Religion and Civilization. *Cambridge University Press*. 291-325.

Kitchka A., 2024. History of Hydrocarbon Exploration in the Black Sea Mega-Basin: From Greek Fire to Sakarya. *AAPG, Search and Discovery Article* #11385. Posted June 26, 2024 https://www.searchanddiscovery.com/documents/2024/11385kitchka/ndx_kitchka.pdf.

Kitchka A.A. and Kostyuchenko Yu.V., 2004. Radar imaging data applications to hydrocarbon prospecting in the South Kerch offshore, Black Sea basin. *Ext Abs. EAGE 66th Conference & Exhibition* – Paris, France, 7 - 10 June 2004.

Kitchka A., Koval A., Tyshchenko A., Dovzhok T., Korovnichenko E., 2013. The problem of exploiting the methane hydrate potential of the Black Sea. *Naftogazova galuz Ukrainy*, 5. 37-41. *in Ukrainian*

Makogon Yu.F., 2015. To the history of gas hydrates discovery. *Geology and Mineral Resources of World Ocean Jour. NASU*, 1, 91-96.

Nolan C., 2023. Sakarya, Amasra and Çaycuma Türkiye's 710 bcm gas discoveries in the Western Black Sea https://www.researchgate.net/publication/368353682, visited 22.01.2026

Popescu I., De Batist M., Lericolais G., Nouzé H., Poort J., Panin N., Versteeg W., Gillet H., 2006. Multiple bottom-simulating reflections in the Black Sea: Potential proxies of past climate conditions. *Marine Geology*, 227, Issues 3–4. 163-176.

Ефремова А.Г., Жижченко Б.П., 1974. Обнаружение кристаллогидратов газов в осадках современных акваторий. *ДАН СССР*, 5(214), с. 1179–1181.

УДК 552.574: 553.94 (477)

ВУГІЛЛЯ ЛЬВІВСЬКО-ВОЛИНСЬКОГО БАСЕЙНУ ЯК СКЛАДОВА ЕНЕРГЕТИЧНОЇ БЕЗПЕКИ УКРАЇНИ

Савчук В.С., *д. геол. н., професор, savchuk.v.s@nmu.one;*
Дементьєва Є.В., *доктор філософії, Dementieva.Y.V@nmu.one;*
Счасний П.В.*, аспірант, Schastnyi.Pa.V@nmu.one,*
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

Розглянуто перспективи використання вугілля геолого-промислових районів Львівсько-Волинського вугільного басейну як сировини для коксохімічної промисловості з метою заміщення вугілля марок Ж і К Донецького басейну. Проаналізовано основні якісні показники та марочний склад вугілля Нововолинського, Червоноградського і Південно-Західного геолого-промислових районів.

COAL OF THE LVIV-VOLYN COAL BASIN AS A COMPONENT OF UKRAINE'S ENERGY SECURITY

Savchuk V., *Dr. Sci. (Geol.), Professor, savchuk.v.s@nmu.one,*
Dementieva Y., *PhD (Earth Sciences), Dementieva.Y.V@nmu.one,*
Schastnyi P.*, Postgraduate Student, Schastnyi.Pa.V@nmu.one,*
NTU "DNIPRO POLYTECHNIC", Dnipro, Ukraine·

This study evaluates the potential of coal from the geological-industrial districts of the Lviv-Volyn Coal Basin as a feedstock for the coke industry, with the aim of substituting coking coals of the Zh and K grades sourced from the Donets Basin. The principal quality parameters and rank characteristics of coal from the Novovolynsk, Chervonohrad, and South-West geological-industrial districts are analyzed.

Вступ. Головною складовою частиною мінерально-сировинного комплексу України є вугілля – єдина сировина, запаси якої потенційно достатні для забезпечення паливно-енергетичної бази держави, сприяння розвитку металургійної і хімічної промисловості.

Виробництво чавуну в Україні потребує значної кількості коксу. Інші виробництва (машинобудування, содове виробництво, харчова промисловість тощо) також потребують використання вугілля.

Актуальність питання. Головним постачальником вугілля для отримання коксу в Україні був переважно Донецький і частково Львівсько-Волинський басейни [1]. У зв'язку з не можливістю на даний час видобутку вугілля марок Ж та К у Донецькому басейні головним і єдиним постачальником коксівного вугілля в Україні є Львівсько-Волинський басейн.

Виклад основного матеріалу. У Львівському прогині відкладення кам'яновугільного періоду містять пласти вугілля на площі близько 1000 км^2. Ресурси кам'яного вугілля складають 2,97 млрд т, з яких 1,76 млрд т відноситься до вугілля здатного до коксування [2].

Басейн поділяється на три геолого-промислових райони: Нововолинський, Червоноградський і Південно-Західний.

На півдні басейну знаходиться Нововолинський геолого-промисловий район до складу якого входять Волинське і Бубнівське родовища.

У центральній частині басейну розташувався Червоноградський геолого-промисловий район, де розташовані родовища: Межиріченське, Сокальське, Забузьке і окремо розташоване Бузьке родовище [3].

На площі Нововолинського геолого-промислового району основною маркою вугілля є марка ДГ. Калорійний еквівалент складає 0,77-0,83. Відносна енергетична цінність вугілля – 0,57, а відносна технологічна цінність – 0,26. Напрям використання цієї марки є енергетика.

Вугілля Червоноградського геолого-промислового району представлено такими марками як Г та Ж. УХІН неодноразово виконував дослідне коксування шихт з використанням вугілля башкирського ярусу Червоноградського геолого-промислового

району Львівсько-Волинського басейну. Склад експериментальних шихт змінювали за рахунок введення вугілля різних шахт Червоноградського району у кількості від 15 до 40 % взамін 40 % газового вугілля Добропільської ЦЗФ (марка Г) та 20 % Пролетарської ЦЗФ (марка Ж). Було встановлено, що при введенні у шихту вугілля шахт № 5, № 6, № 7, № 8 «Великомостівські» замість вугілля марки Г у кількості до 40 %, або одноразово замість 20% марки Г та 20 % марки Ж Донецького басейну кокс за фізико-механічними властивостями з експериментальних шихт не поступається коксу з еталонних шихт. Ці дані підтверджуються результатами коксування у промислових умовах. Так, у шихтах коксохімічних заводів України частка вугілля марки Ж цього району Львівсько-Волинського басейну звичайно не перевищує 15 %.

В останні роки у Червоноградському геолого-промисловому районі були розвідані запаси вугілля пласта v_6. Запаси вугілля на розвіданих ділянках склали 209,5 млн т. Вугілля характеризується незначною кількістю сірки, в межах 0,7-3,1, у середньому 1,53. За хіміко-технологічними властивостями воно було віднесено переважно до марок ГЖ і Ж, які придатні для коксування і можуть повністю замінювати вугілля цих марок в шихтах для коксування.

Південно-Західний вугленосний район примикає до південно-західної межі Червоноградського. До його складу входять Тяглівське і Любельське родовища. Розвідані тут запаси вугілля склали 1,1 млрд т.

На Тяглівському родовищі підраховані запаси марок Г та Ж, а на Любельському – марок Г, Ж та К.

У Південно-Західному геолого-промисловому районі марка Г розповсюджена переважно на Тяглівському родовищі. Зольність вугільних пластів – 20,7 %. Вугілля переважно сірчисте та багатосірчисте.

При зміні виходу летких від 26,8 % до 42,7 % середнє значення дорівнює 35,1%. Середні значення товщини пластичного шару дорівнює 18 мм. Показник відбиття вітриніту в середньому складає 0,79 %, що відповідає II стадії, 12- го класу метаморфізму [4].

Відносна технологічна цінність органічної маси вугільних пластів змінюється від 0,48 до 0,56, а для родовища у цілому складає 0,52.

Вугілля марки Г на площі Тяглівського родовища може бути застосоване як в енергетиці, так і у коксохімічній промисловості.

У Південно-Західному вугленосному районі вугілля марки Ж поширене на Тяглівському і Любельському родовищах [5].

На Тяглівському родовищі переважає сірчисте вугілля (S_t^d = 3,1 %), а на Любельському – середньосірчисте (1,84 %). Збагачуваність по сірці гарна. Коефіцієнт зниження сірчистості складає 0,5-0,6. Вихід летких речовин на Тяглівському родовищі при граничному значенні 23,4-41,3 % переважає вугілля з V^{daf} – 30-32 %. Для вугілля Любельського родовища характерні нижчі значення цього показника, у межах 21,2-36,9 %, при середньому 26,4 %. Пластометричні показники практично збігаються і складають у середньому 22 мм (Тяглів) і 21 мм (Любеля). Вугілля Любельського родовища відноситься до 14-го класу III стадії метаморфізму. На Тяглівській ділянці вугілля належить до 13-го класу II – III стадії метаморфізму.

Калорійний еквівалент становить 0,86-0,98. Відносний коефіцієнт технологічної цінності марки Ж Тяглівського родовища складає 0,82-0,86, а Любельського – від 0,89 до 1,0.

За даними УХІН введення в шихту вугілля марки Ж Тяглівського родовища в кількості 33 % замість жирного вугілля Донецького басейну дозволило отримати кокс задовільної якості. При введенні в шихту вугілля марки Ж Любельського родовища якість дослідного коксу, не поступалася якості коксу отриманого з еталонної шихти.

Марка К у Львівсько-Волинському басейні розповсюджене на території *Любельського родовища*, переважно на ділянках № 1, № 2 "Любельських" [6].

За хіміко-технологічними властивостями вугілля досить різноманітне. Середня зольність вугільних пластів складає 14,1 %, а вугільних пачок – 13,3 %. Вугілля

малосірчисте. Середній вміст сірки у ньому становить 1,04 %. Вихід летких змінюється від 18,7 до 29,7 %. Товщина пластичного шару у середньому складає 17 мм. Найбільше розповсюдження має надзвичайно коксівне (47,5 %) та помірнококсівне (43,4 %) вугілля.

Калорійний еквівалент також значний і дорівнює близько 0,97. Відносний коефіцієнт технологічної цінності органічної маси складає 0,98.

Таким чином, вугілля марки К має значний коефіцієнт технологічної цінності, не поступається за цими властивостями вугіллю марки К Донецького басейну і належить до цінної сировини для отримання металургійного коксу.

При дослідному коксуванні шихт УХІН за участю вугілля марки К Любельського родовища було отримано досить міцний кокс задовільної якості.

Висновок.

1. Вугілля Нововолинського геолого-промислового району знаходиться на незначній стадії метаморфізму і характеризується незначним показником технологічної цінності органічної маси, який майже у двічі нижчий за коефіцієнтом його енергетичної Головним напрямом його використання у промисловості є енергетика;
2. Вугілля марки Ж Червоноградського геолого-промислового району здатне до коксування у кількості до 20% замість вугілля марки Ж Донецького басейну;
3. Вугілля марок Ж і К Південно-Західного вугленосного району характеризується незначною сірчистістю і високими значеннями показника відносної технологічної цінності органічної маси. Основним напрямом їх використання є коксохімічна промисловість.

Отримані дані свідчать, що вугілля Львівсько-Волинського басейну є основою для отримання коксу в Україні.

Список використаних джерел:

1. Проблеми формування сировинної бази коксування для забезпечення доменного виробництва України високоякісним коксом / І. Д. Дроздник, Ю. С. Кафтан, В. А. Журавльов та ін. // Вуглехімічний журнал. – Київ. – 2009. – № 3 – 4. – С. 3 – 6.

2. Ресурси твердих горючих копалин України на 01.01.2005 р. (за оперативними даними) / Укладачі випуску: В. І. Мартинюк, Н. В. Коран // Під редакцією М. О. Акулова. – К.: Геоінформ, 2001. – 127 с.

3. Кореляція карбонових вугленосних формацій Львівсько-Волинського та Люблінського басейнів / В.Ф. Шульга, А. Здановські, Л.Б. Зайцева і ін. – Київ.: «Варта». 2007. – 426с.

4. Савчук В. С. Метаморфізм вугілля Львівсько-Волинського басейну // Наук. вісник НГУ. – 2004. – № 9. – С. 37 – 40.

5. Савчук В. С. Основні промислові петролого-технологічні типи нижньокарбонового вуглеутворення на території України // Наук. вісник НГУ. – 2006. – № 7.– С. 41 – 44.

УДК 622.33:347.412

ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ РЕАЛІЗАЦІЇ УКЛАДЕНИХ АТ «УКРГАЗВИДОБУВАННЯ» УГОД ПРО РОЗПОДІЛ ВУГЛЕВОДІВ НА ЕТАПІ ГЕОЛОГІЧНОГО ВИВЧЕННЯ

Дудніков М.С., *к. геол. н., mykola.dudnikov@ugv.com.ua;*
Гетьман О.В., *olena.getman@ugv.com.ua,*
Черненко В.М., *volodymyr.chernenko@ugv.com.ua,*
Качур В.І., *vasyl.i.kachur@ugv.com.ua,*
АТ «Укргазвидобування», Київ, Україна

Висвітлено питання щодо поточного стану виконання Етапу геологічного вивчення, який передбачений умовами укладених АТ «Укргазвидобування» угод про розподіл вуглеводнів, що видобуватимуться в межах ділянок Балаклійська, Бузівська, Берестянська та Іванівська. Надано інформацію про подальші плани геологічного вивчення.

Ключові слова: УРП, Етап геологічного вивчення, Інвестор, Програма Робіт, Бюджети

PRACTICAL ASPECTS OF IMPLEMENTING PRODUCTION SHARING AGREEMENTS CONCLUDED BY JSC UKRGASVYDOBUVANNYA AT THE GEOLOGICAL EXPLORATION STAGE

Dudnikov M., *PhD in Geological Sciences, mykola.dudnikov@ugv.com.ua,*
Getman O., *olena.getman@ugv.com.ua,*
Chernenko V., *volodymyr.chernenko@ugv.com.ua,*
Kachur V., *vasyl.i.kachur@ugv.com.ua,*
JSC "Ukrgasvydobuvannya", Kyiv, Ukraine

The issue of the current status of the Geological Exploration Stage implementation, provided for by the terms of the concluded hydrocarbon production sharing agreements for the Balakliiska, Buzivska, Berestianska, and Ivanivska blocks, is highlighted. Information on further geological exploration plans is provided.

Keywords: PSA, Geological exploration stage, Investor, Works Program, Budgets

Вступ. Між Державою Україна та АТ «Укргазвидобування» 31.12.2020 р. укладено угоди про розподіл вуглеводнів (УРП), які видобуватимуться у межах ділянок Балаклійська, Бузівська, Берестянська та Іванівська. Власне АТ «Укргазвидобування» виступає одноосібним Інвестором в рамках укладених УРП.

Угоди про розподіл продукції є однією з провідних договірних форм у сфері права користування надрами та ефективним інструментом залучення інвестицій в галузі видобування корисних копалин. Такі угоди виступають найбільш збалансованою формою державно-приватного партнерства, що покликано в рівній мірі забезпечувати інтереси інвестора і держави та задовольняти їх економічні потреби, забезпечувати вимоги екологічної безпеки в процесі господарської діяльності [1].

Відповідно до умов укладених УРП та Закону України «Про угоди про розподіл продукції» передбачено, що на підставі угоди про розподіл продукції одна сторона – Держава доручає іншій стороні - інвестору на визначений строк проведення пошуку, розвідки та видобування корисних копалин на визначеній ділянці (ділянках) надр та ведення пов'язаних з угодою робіт, а інвестор зобов'язується виконати доручені роботи за свій рахунок і на свій ризик з наступною компенсацією витрат і отриманням плати (винагороди) у вигляді частини прибуткової продукції [2].

Окремо, УРП передбачає Етап геологічного вивчення, яким Інвестору необхідно виконати затверджені Програму Робіт та Бюджети, що є індивідуальними для кожної УРП.

Через вплив воєнної агресії проти України, обставини форс-мажору, а також різну наближеність до зони бойових дій, стан виконання Етапу геологічного вивчення різний, що обґрунтовує потребу у продовженні його на два роки, відповідно до передбачених в УРП умов.

Загальні положення. Виходячи з положень Закону [2], УРП є свого роду спільним проектом держави та бізнесу. Зважаючи на те, що в цивільному законодавстві під терміном «угода» розуміється домовленість сторін, укладена на добровільній основі, УРП як інститут в першу чергу повинен розглядатись як співпраця держави та інвесторів, взаємодія сторін з метою отримання вигоди та задоволення потреб учасників Угоди.

Цілком зрозуміло, що відсутність належної комунікації, розуміння та довіри, прямо впливатимуть на успішність проекту. Як наслідок, інвестором може бути тільки та компанія, яка має відповідну репутацію на ринку, а держава в свою чергу повинна гарантувати утримання від дій, що мають характер упередженого ставлення чи здійснення тиску на інвесторів [3].

Додатками до підписаних УРП передбачено індивідуальні Програми Робіт та Бюджети Етапу геологічного вивчення. Передбачено зобов'язання Інвестора протягом п'ятирічного Етапу геологічного вивчення провести певний комплекс робіт і досліджень та виконати буріння низки свердловин. Зокрема, підписаними УРП визначено, що «Етапом геологічного вивчення – є період, який розпочинається в Дату початку та який триватиме п'ять років (з продовженням не більше ніж на 2 роки у порядку згідно з Угодою».

На даний час слід відзначити наступний стан виконання програм робіт для кожної із укладених УРП:

1. Бузівська УРП.

Відповідно до основних зобов'язань проведено геолого-тематичні дослідження, виконано 3D сейсморозвідувальні роботи, проводиться буріння та випробування свердловин. При цьому, етап геологічного вивчення, що передбачає завершення спорудження та випробування свердловин, їх підключення та облаштування і проведення дослідно-промислової розробки потребуватиме додаткового часу. Окрім того, Бузівська ділянка УРП є прогнозно-перспективною на поклади газу ущільнених колекторів, що вимагає додаткових сейсмічних досліджень для вивчення їх перспектив. Завершення вказаних робіт та подальше оголошення комерційного відкриття, об'єктивно потребує продовження Етапу геологічного вивчення ще на 2 роки у відповідністю із умовами УРП.

2. Іванівська УРП.

Іванівська УРП з 2022 року знаходиться під впливом обставин форс-мажору. Не дивлячись на це, від дати підписання угоди виконано значний комплекс робіт, що включає геолого-тематичні дослідження, капітальний ремонт вже пробуреної свердловини з метою її відновлення та буріння нової свердловини. Протягом 2026-2027 рр. планується проведення 3D сейсморозвідувальних досліджень за результатами яких буде визначено місцеположення для буріння нових свердловин в майбутні роки.

3. Балаклійська УРП

По аналогії з Іванівською, Балаклійська УРП так само знаходиться з 2022 року під впливом обставин форс-мажору. Через окупацію ділянки у 2022 році та близькість до зони бойових дій, безпекова ситуація тут є складною. Від дати підписання угоди на ділянці надр виконано геолого-тематичні дослідження. Після покращення безпекової ситуації у межах ділянки надр планується визначення зони геологічних інтересів для подальшого проведенням 3D сейсморозвідувальних робіт, за результатами яких буде визначено місцеположення нових свердловин.

4. Берестянська УРП

У межах Берестянської УРП виконано значні обсяги програми робіт. Більшість ділянки надр (1/3 частина) розташована у Львівській області, що дозволило сконцентрувати тут основні зусилля з освоєння ресурсного потенціалу в умовах воєнного стану. Відповідно до основних зобов'язань у межах ділянки надр проведено геолого-тематичні дослідження, виконано 3D сейсморозвідувальні роботи, пробурено 2 свердловини та виконано КРС існуючої свердловини Рудківського родовища. За результатами буріння та випробування свердловин розпочато видобуток і розподіл вуглеводнів між Інвестором та Державою. Подальші роботи на Берестянській УРП передбачають спорудження додаткових

свердловин, проведення дослідно-промислової розробки і оцінку запасів. Таким чином, для завершення робіт та подальшого оголошення комерційного відкриття, необхідне продовження Етапу геологічного вивчення ще на 2 роки згідно із умовами УРП.

Відповідно до Правил розробки нафтогазових родовищ, що затверджені Наказом Міністерства екології та природних ресурсів України 15.03.2017 №118 [4], а також обов'язкових умов укладених УРП, для прийняття Інвестором рішення про оголошення Комерційного Відкриття та початку Етапу промислової розробки необхідно виконати наступні роботи:

- проведення додаткових геологічних досліджень, за результатами отриманих даних;
- проведення дослідно-промислової розробки родовищ Договірної ділянки;
- підрахунок та оцінка запасів;
- підготовка звіту про Геологічне вивчення та прийняття рішення про Комерційне відкриття;
- оголошення Комерційного Відкриття та перехід до Етапу Промислової розробки.

В цілому, підписані УРП дають можливість Інвестору за потреби продовжити Етап геологічного вивчення, але при цьому передбачено низку вимог, що дещо ускладнює цей процес. Зокрема, Угоди передбачають, що Державний уповноважений орган (ДУО) може схвалити продовження Етапу геологічного вивчення, але не більше ніж на два роки, з метою закінчення фізичного виконання розпочатих робіт з геологічного вивчення при наданні підтвердження обґрунтованих підстав у Інвестора. Також, вказується на необхідність складання Інвестором Програми Робіт та Бюджету, які необхідно виконати в разі продовження Етапу геологічного вивчення з метою подальшого переходу до Етапу промислової розробки Договірної ділянки. Таким чином, норми діючих УРП передбачають остаточне рішення щодо продовження Етапу геологічного вивчення на 2 роки виключно за рішенням ДУО з відповідним погодженням Програми Робіт і Бюджету.

Висновок. Приймаючи до уваги складні вимоги та обмежене фінансування робіт з геологічного вивчення ділянок УРП, спричинене воєнним станом та об'єктивними причинами, продовження Етапу геологічного вивчення ще на 2 роки згідно норм діючих Угод вбачається логічним та закономірним виходом в поточній ситуації. Разом з тим, реалізація такого рішення несе за собою ризики відхилення пропозицій Інвестора з боку ДУО, а також неможливість нового продовження в наслідок можливої подальшої конфронтації конфлікту, що не дасть Інвестору завершити Етапу геологічного вивчення у заплановані 2 роки. Шляхом мінімізації ризику є внесення змін до вже діючих УРП, а також вилучення норми необхідності узгодження з ДУО продовження Етапу геологічного вивчення та можливість прийняття такого рішення Інвестором в односторонньому порядку на підставі виконаних досліджень та робіт.

Список використаних джерел:

1. Матюшко О. А. Угоди про розподіл продукції: проблеми правового регулювання. Право та інновації № 2 (22) 2018. Ст.98

2. Закон України від 14.09.1999 №1039-XIV «Про угоди про розподіл продукції». Відомості Верховної Ради України (ВВР), 1999, № 44.

3. Власенко Н. Р. Перспективи інституту угод про розподіл продукції в умовах воєнного стану. Матеріали X міжнародної науково-практичної конференції «Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування», Київ 2025, Ст. 219

4. Правила розробки нафтогазових родовищ, що затверджені Наказом Міністерства екології та природних ресурсів України 15.03.2017 №118.

УДК 551.781:551.352 (477.8)

ГЕНЕТИЧНА ТИПІЗАЦІЯ ПСАМІТОВОГО МОДУЛЯ ЯМНЕНСЬКОЇ СВІТИ ЯК КРИТЕРІЙ ПРОГНОЗУВАННЯ КОЛЕКТОРІВ ВУГЛЕВОДНІВ У ЗОВНІШНІХ КАРПАТАХ

Генералова Л.В., *к. геол. н. доцент, larysa.heneralova@lnu.edu.ua,*
Генералов А.В*., аспірант, anton.heneralov@lnu.edu.ua,*
Костюк О.В*., к. геол. н. доцент, oleksandr.kostyuk@lnu.edu.ua,*
Львівський національний університет імені Івана Франка, Львів, Україна

Роботу присвячено реконструкції умов седиментації палеоценової ямненської світи Зовнішніх Карпат на основі аналізу її літодинамічних і структурно-текстурних ознак. Дослідження доводить, що формування відкладів відбувалося в глибоководних умовах за участі масштабних комплексів масового перенесення (МТС), результати якого можуть бути використані для оптимізації пошуку вуглеводнів у регіоні.

Ключові слова: літодинамічні типи, комплекси масового перенесення (КМС), фліш, палеоцен, Українські Карпати

GENETIC TYPING OF THE PSAMMITIC MODULE OF THE YAMNA FORMATION AS A CRITERION FOR PREDICTING HYDROCARBON RESERVOIRS IN THE OUTER CARPATHIANS

Heneralova L*., Cand. Sci. (Geol.), Assoc. Prof., larysa.heneralova@lnu.edu.ua,*
Heneralov A*., PhD student, anton.heneralov@lnu.edu.ua,*
Kostyuk O.*, Cand. Sci. (Geol.), Assoc. Prof., oleksandr.kostyuk@lnu.edu.ua,*
Ivan Franko National University of Lviv, Lviv, Ukraine

This study focuses on reconstructing the depositional conditions of the Paleocene Yamna Formation in the Outer Carpathians based on an analysis of its lithodynamic and structural-textural characteristics. The research demonstrates that the deposits formed in a deep-water setting involving large-scale mass-transport complexes (MTCs); these findings can be utilized to optimize hydrocarbon exploration in the region.

Keywords: lithodynamic types, mass-transport complexes (MTC), flysch, Paleocene, Ukrainian Carpathians

Вступ. Дослідження верхньокрейдово-еоценових глибоководних високогустинних утворень актуалізувало вивчення комплексів масового транспортування, поширених у ритмічно-циклічних флішевих формаціях Українських Карпат. За даними сучасних океанографічних спостережень, подібні літофаціальні асоціації формуються в межах океанічних акваторій Світу, де вони приурочені до крутих ділянок дна між шельфовою брівкою та глибоководним підніжжям континентального схилу. Гравітаційні процеси на підводних схилах, такі як осуви (зсуви грав.), обвали, зміщені блоки та селеві потоки, призводять до формування в осадових басейнах великих геологічних тіл, відомих у міжнародній практиці як комплекси масового перенесення (у міжнародній термінології – Mass-Transport Complexes – MTC) [6, 7]. У розрізі вони зазвичай залягають над ерозійною основою в проксимальній частині (вище за конус виносу турбідитів), змінюючись горбистим рельєфом у дистальній зоні (нижче за конус). Морфологічно ці тіла характеризуються нерівною пагорбистою поверхнею та латеральним виклинюванням [6, 7]. Сейсмічні фації являють собою бугрове відображення з поганою або помірною безперервністю та змінною амплітудою [7]. В палеоосувних системах МТС зазнали суттєвих постседиментаційних перетворень, трансформувались у літифіковані гірські породи з ознаками глибоководних високогустинних утворень.

Виклад основного матеріалу.

Методи. Наші дослідження, що базуються на досвіді попередників [2 та цитована література там], а також детальний аналіз літодинамічних (генетичних) типів флішових утворень Скибового та Бориславсько-Покутського покривів Українських Карпат із залученням сучасного методичного апарату [1, 3–5] дозволили ідентифікувати МТС у низці верхньокрейдово-еоценових стратонів.

Об'єктом дослідження є палеоценові відклади ямненської світи, яка в межах зовнішніх скиб Скибового та Бориславсько-Покутського покривів Українських Карпат

(межиріччя Дністер–Свіча) стратиграфічно залягає на турон-палеоценовій стрийській світі й перекривається нижньоеоценовою манявською світою [2].

Мета роботи полягає в реконструкції геодинамічних та седиментаційних умов формування псамітів цієї світи в Зовнішніх Карпатах. Для реалізації поставленої мети здійснено аналіз речовинного складу, структурно-текстурних і літодинамічних характеристик псамітового модуля ямненської світи. Досліджено закономірності вертикального розподілу їх літодинамічних типів у розрізі, що дозволило виділити генетичні одиниці високого порядку. На основі встановленої специфіки послідовності цих типів проведено їхню типізацію та обґрунтовано виділення циклітів (секвенцій) високого порядку, які ідентифіковано як комплекси масового перенесення (МТС).

Результати. У долішній частині ямненської світи розвинений яремчанський строкатоколірний горизонт (потужністю до 10–40 м), у якому ритмічно-циклічно перешаровані вишнево-червоні і зеленкувато-сірі аргілітів і дрібнозернисті пісковики, що за літодинамічними типами належать геміпелагітам і дрібнозернистим турбідитам [2]. Яремчанський горизонт перекривається псамітовим модулем, якій представлений груборитмічними світло-сірими та жовтуваті пісковиками з шарами й лінзами гравійних жорствяників, гальково-щебневих конгломератобрекчій, великобрилових псефітів. За літодинамічними типами в них розпізнаються масивні і градаційні текстури, які догори набувають елементи горизонтальної шаруватості, що дає підстави ідентифікувати їх як елементами цикліту Боума $T_{ав}$ і відносити до високогустинних турбідитів [2]. Псамітові шари з домінуванням масивної текстури і різнозернистої пудингової суттєво кварцової структури віднесені нами до грейнітів. Вони належать продуктам зернових (англ. grain-flow), розріджених і флюїдизованих потоків. Дрібногальково-жорств'яні конгломератобрекчій, у якіх наявні інтервали послідовності Д. Лау R_{12}, R_2S_{12}, R_2S_{123} , зараховані до дебритів. Вони несуть ознаки підводних грязекам'яних (дебрисних) потоків (англ. debris-flow) і супроводжуються підводно-осувними явищами. Серед останніх розпізнаються горизонти хаотичних комплексів (олістостром), зміщені блоки із первинною стратифікацією серед дезинтегрованої вмісної матриці, підводно-осувні складки. У верхніх частинах інтервалів S_2 та S_3 нерідко трапляються кулясті або еліптичні піщані стяжіння, діаметр яких досягає 0,5 м.

За петроструктурними характеристиками та речовинним складом псаміти ямненської світи чітко поділяються на два типи. Перший тип охоплює кварцові алевро-дрібнопсамітові різновиди, уламковий матеріал яких відзначений високим ступенем обкатаності й упорядкованим заляганням паралельно до площин нашарування. Другий тип об'єднує різнозернисті несортовані необкатані (середньопсефітово-псамітові) різновиди теригенних порід, каркас яких складений уламками кварцу, плагіоклазу, калій-натрієвих польових шпатів і літокластів. Завдяки такій структурній неоднорідності породи набувають вигляду мікстолітів із неясношаруватою або пудинговою текстурою. Генезис виявлених типів пісковиків має різну природу: пісковики першого типу накопичувалися в умовах відносно спокійного осадонагромадження дистальної частини турбідитних конусів виносу, тоді як структурні особливості другого типу відображають вплив потужного динамічного чинника, який спонукав формування МТС та утворень високогустинних потоків.

Просторове зіставлення та ретельний аналіз розрізів ямненської світи в межах району досліджень дали змогу виявити характерну ритмічність відкладів, на основі якої було виокремлено великомасштабні цикліти. Будова цих циклітів підпорядкована чіткій спрямованості: від базальних олістостром вгору за розрізом до дебрітів, грейнітів та відкладів високогустинних грубозернистих потоків. У верхній приконтактній зоні циклітів присутні піщані сфероїди різного генезису – осувні структури та сейсмогенні дислокації, що сформувалися як реологічна реакція неконсолідованого пластичного осаду на сейсмічні поштовхи. Отримані дані свідчать про прямий зв'язок між умовами седиментації та ендогенним режимом регіону, фіксуючи таку літодинамічну послідовність: ініціальний сейсмічний поштовх спричиняє формування олістостром, подальше зниження сейсмічної

активності зумовлює генезис дебрісних потоків, тоді як афтершоки виступають тригером для утворення сфероїдовмісних високогустинних потоків.

У підсумку, діагностовані в ямненській світі літодинамічні типи дали змогу деталізувати особливості будови стратону, уточнити умови седиментації псамітового модуля та дійти висновку, що за комплексом породних асоціацій значна його частина належить до комплексів масового перенесення (МТС). При дослідженні виявлено тісний зв'язок між комплексами масового перенесення (МТС) та місцевими фоновими відкладами материкового схилу (представленими переважно геміпелагітами), а також спорадичними турбідитами підводних конусів виносу. Досить часто МТС залягають безпосередньо на розмитих верствах низькощільних турбідитів, а зверху їх, у свою чергу, перекривають наступні турбідитові утворення.

Умови утворення та літологічна специфіка розрізів ямненської світи сформувалася в межах пасивної окраїни Євразії, що охоплювала північно-східну периферію Зовнішньокарпатського залишкового басейну океану Тетіс. Палеоекологічні дані дослідження форамініфер вказують на те, що басейн седиментації охоплював нижню частину континентального схилу та підніжжя в умовах глибоководдя нижче рівня глибини компенсації кальциту (CCD) [2 та цитована там література]. Геодинамічним тлом осадонагромадження виступав пізньокрейдово-еоценовий тектонічний цикл, пов'язаний із підсуванням (субдукцією) підстильної кори Карпатського флішевого прогину під Тисію-Дакію. Наростання ендогенної активності у цей період зумовило поєднання глибоководної турбідитної седиментації із масштабним формуванням комплексів масового перенесення матеріалу.

Висновки. Виконана типізація літодинамічних типів псамітового модуля ямненської світи дозволила реконструювати умови його седиментації та довести приналежність до глибоководних МТС. Оскільки комплекси масового перенесення часто формують резервуари для нафти й газу, отримані дані є важливими для нафтогазової галузі. Вони слугуватимуть надійними критеріями для дешифрування сейсмічних зображень під час пошукових робіт у досліджуваному та суміжних районах Карпатського регіону.

Список використаних джерел:

1. Гнилко О. М. Про седиментаційні процеси формування флішевих відкладів Українських Карпат. Зб. наук. праць Ін-ту геологічних наук НАН України. Київ, 2010. Вип. 3. С. 32– 37.

2. Гнилко О., Гнилко С., Кулянда М., Марченко Р. Тектоно-седиментаційна еволюція передової частини насувної споруди Українських Карпат. Геологія і геохімія горючих копалин. 2021. №1–2 (183–184). С. 45–59. https://doi.org/10.15407/ggcm2021.01-02.045

3. Einsele G. Sedimentary Basins: evolution, facies and sediment budget. Berlin: Springer Verlag, 1992. 615 p.

4. Lowe D.R. Sediment gravity flows; II, Depositional models with special reference to the deposits of high-density turbidity currents. J. Sediment. Pet., 1982. Vol. 52. P. 279–297. https://doi.org/10.1306/212F7F31-2B24-11D7-8648000102C1865D

5. Posamentier H.W., Walker R.G. Deep-Water Turbidites and Submarine Fans Facies Models Revisited. SEPM Special Publication. 2006. No. 84. P. 1–122.

6. Shipp R. C., Weimer P., & Posamentier H. W. Mass-transport deposits in deepwater settings: An introduction. In R. C. Shipp, P. Weimer, & H. W. Posamentier (Eds.), *Mass-Transport Deposits in Deepwater Settings*. SEPM Special Publication. 2010. No. 96, P/ 3–6. doi.org/10.2110/sepmsp.096.003

7. Weimer P. & Craig S. Mass Transport Complex: Musing on Past Uses and Suggestions for Future Directions. Paper presented at the Offshore Technology Conference, Houston, Texas, May 2004. doi: https://doi.org/10.4043/16752-MS

УДК 622.245.4:502.131.1

ЗАСТОСУВАННЯ ВІТЧИЗНЯНИХ КОМПОЗИТНИХ ТАМПОНАЖНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ЯКІСНОГО КРІПЛЕННЯ ГЛИБОКИХ СВЕРДЛОВИН І СТАЛОГО РОЗВИТКУ НАФТОГАЗОВОГО КОМПЛЕКСУ УКРАЇНИ

Стефурак Р.І.[1]*, к. тех. н., доцент, r.stefurak@istu.edu.ua;*
Худолей В.Ю.[1]*, д. екон. н., професор, veronica.khudolei@istu.edu.ua;*
Чередниченко Д.О.[1]***,*** *d.cherednychenko@istu.edu.ua;*
Петришин А.Ю.[1]***,*** *a.petryshna@istu.edu.ua;*
Мазурок П.С.[2]***,*** *mazurok.pavel@gmail.com,*
1 – Заклад вищої освіти «Міжнародний науково-технічний університет ім. академіка Юрія Бугая», м. Київ, Україна,
2 – Товариство з обмеженою відповідальністю «УКРСКС»

Анотація. Розглянуто застосування вітчизняних композитних тампонажних систем як складову якісного кріплення глибоких нафтогазових свердловин і сталого управління ресурсами надр. Обґрунтовано необхідність переходу від формального вибору базового цементу до проєктування повної тампонажної системи, адаптованої до фактичних гірничо-геологічних і термобаричних умов. На прикладі розробок ТОВ «УКРСКС» проаналізовано полегшені, полегшені розширювальні, високотемпературні та газоблокувальні матеріали, а також модель фабричного виготовлення сухих композитних сумішей із лабораторним контролем. Показано роль вітчизняної лабораторної інфраструктури у визначенні часу загуснення, реології, водовіддачі, розширення і розвитку міцності в умовах, наближених до свердловинних. Запропоновано поєднувати національні розробки з уніфікованими методами випробувань ISO та API, не підміняючи ними інженерну адаптацію. Такий підхід сприяє зменшенню ремонтного цементування, матеріаломісткості, логістичних ризиків і залежності від імпортних технологій.

Ключові слова: глибока свердловина, вітчизняні технології, композитні тампонажні системи, розширювальний цемент, зональна ізоляція, сталий розвиток.

APPLICATION OF DOMESTIC COMPOSITE WELL-CEMENTING SYSTEMS FOR HIGH-QUALITY CASING OF DEEP WELLS AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF UKRAINE'S OIL AND GAS SECTOR

Stefurak R.[1]***,*** *Cand. Sci. (Eng.) Associate Professor, r.stefurak@istu.edu.ua;*
Khudolei V.[1]***,*** *Dr. Sci.(Econ.), Professor, veronica.khudolei@istu.edu.ua;*
Cherednychenko D.[1]***,*** *d.cherednychenko@istu.edu.ua;*
Petryshyn A.[1]***,*** *a.petryshna@istu.edu.ua;*
Mazurok P.[2]***,*** *mazurok.pavel@gmail.com,*
1 – Higher Educational Institution "Academician Yuriy Bugay International Scientific and Technical University", Kyiv, Ukraine,
2 – UKRSKS LIMITED LIABILITY COMPANY

Summary. The application of domestic composite well-cementing systems is considered a component of high-quality casing of deep oil and gas wells and sustainable subsurface resource management. The study substantiates a transition from the formal selection of a base cement to the design of a complete cementing system adapted to actual geological, pressure and temperature conditions. Using the developments of UKRSKS LLC as a case study, lightweight, lightweight expanding, high-temperature and gas-blocking materials are analyzed together with factory production of dry composite blends and laboratory quality control. Domestic laboratory infrastructure enables testing of thickening time, rheology, fluid loss, expansion and strength development under simulated downhole conditions. National technologies should be combined with unified ISO and API test methods without replacing engineering adaptation. This approach can reduce remedial cementing, material consumption, logistics risks and dependence on imported solutions.

Keywords: deep well, domestic technologies, composite cementing systems, expanding cement, zonal isolation, sustainable development.

Вступ. Освоєння глибоких покладів вуглеводнів супроводжується підвищенням температур і тисків, ускладненням геологічної будови, звуженням допустимого «вікна» між

пластовим тиском і тиском поглинання, ризиком газопроявів, втрат циркуляції та забруднення тампонажного розчину. За таких умов кріплення свердловини є не допоміжною завершальною операцією, а основою керованого доступу до ресурсів надр. Обсадна колона, цементна оболонка і контакти «колона–цемент» та «цемент–порода» утворюють бар'єрну систему, яка повинна зберігати герметичність під час буріння, освоєння, видобування, інтенсифікації, ремонтів і ліквідації свердловини.

Порядок денний ООН до 2030 року поєднує економічну, соціальну та екологічну складові сталого розвитку [1]. Для нафтогазового комплексу якісне кріплення безпосередньо підтримує Ціль 6 через захист підземних вод, Ціль 7 через надійність енергопостачання, Ціль 9 через розвиток стійкої виробничої інфраструктури, Ціль 12 через ефективне використання матеріалів, а Ціль 13 — через запобігання неконтрольованій міграції газу та зайвим ремонтним операціям. Тому оцінювання цементування лише за фактом підйому цементу або ранньою міцністю є недостатнім.

Мета і методи дослідження. Метою роботи є формування системного підходу до якісного кріплення глибоких свердловин, який забезпечує довготривалу зональну ізоляцію та вимірюваний внесок в енергетичну, технологічну та екологічну стійкість нафтогазового комплексу України. Застосовано системний аналіз технологічного ланцюга цементування, порівняння вимог міжнародних стандартів, аналіз відкритого каталогу, лабораторної бази та виробничої моделі вітчизняного розробника тампонажних матеріалів ТОВ «УКРСКС», узагальнення результатів сучасних досліджень механічної цілісності цементної оболонки. Методологічною основою є принцип багатобар'єрності та управління ризиками протягом життєвого циклу, закріплений у ISO 16530-1:2017 [2].

Критерії якісного кріплення. У глибокій свердловині цементний камінь працює не як статичний заповнювач, а як елемент складної термомеханічної системи. Після тужавіння він зазнає циклів тиску й температури, розвантаження під час заміни важкої рідини на легшу, опресування, перфорації, гідродинамічних операцій та зміни режимів видобування. Огляд причин втрати цілісності свердловин показує, що дефекти можуть бути пов'язані з каналами у цементі, мікрозазорами на контактах, тріщинами, усадкою, корозійним впливом і недостатньою адгезією [5]. Отже, якість має включати не тільки міцність на стиск, а й деформативність, міцність на розтяг, проникність, стабільність об'єму, зчеплення з колоною та породою.

Експериментальні дослідження тампонажних систем за високих температур і тисків підтверджують необхідність випробовувати матеріал в умовах, наближених до фактичних свердловинних, оскільки режим тверднення та навантаження впливає на механічні властивості цементу [6]. Окремо слід враховувати ексцентриситет колони. За нерівномірного кільцевого зазору швидкість потоку та повнота витіснення бурового розчину відрізняються по периметру, що створює передумови для утворення каналів. Моделювання глибоких газових свердловин також засвідчує, що значне зниження внутрішнього тиску після цементування може спричинити мікрозазори; ризик зростає зі збільшенням ексцентриситету, тоді як зниження модуля пружності за достатньої міцності підвищує опір розгерметизації [7].

Технологічна система забезпечення якості. Перший етап — формування достовірної моделі умов цементування. Вона повинна містити профілі пластового тиску і тиску поглинання, розрахункові вибійну циркуляційну та статичну температури, геометрію стовбура, кавернозність, властивості бурового розчину, інтервали проявів і поглинань, очікувані режими навантаження після цементування. Для глибоких свердловин особливо важливо моделювати еквівалентну циркуляційну густину на всіх стадіях закачування та продавлювання, оскільки перевищення тиску поглинання погіршує повноту підйому цементу, а недостатній протитиск підвищує ризик припливу пластового флюїду.

Другий етап — проєктування конструкції обсадної колони та її центрування. Розміщення центраторів доцільно визначати не за мінімальною типовою схемою, а за розрахунком фактичного положення колони в похилих, кавернозних і ризикових

інтервалах. До спуску необхідно перевірити прохідність, сумісність елементів оснастки, можливість обертання або зворотно-поступального руху колони, якщо це допускається проєктом. Критерієм є формування достатнього кільцевого зазору для рівномірного витіснення, а не лише успішне досягнення проєктної глибини.

Третій етап — лабораторна кваліфікація системи «буровий розчин — буферна рідина — тампонажний розчин». Випробування повинні відтворювати фактичну воду замішування, цемент і партії домішок, температурно-часовий режим приготування та закачування. Контролюють густину, реологію, водовіддачу, седиментаційну стабільність, вільну воду, час загуснення, розвиток ранньої міцності, газоблокувальну здатність, стабільність об'єму і механічні властивості цементного каменю. API Specification 10A встановлює базові вимоги до цементів і матеріалів [3], а API Standard 65-2 узагальнює практики ізоляції зон можливого перетоку [4]. Проте формальна відповідність цементу певному класу API не гарантує герметичності конкретної свердловини. Міжнародні стандарти доцільно використовувати як джерело уніфікованих методів контролю, поєднуючи їх із національними нормативами, вітчизняними технічними умовами та адаптацією рецептури до фактичних параметрів об'єкта. Стратегічним завданням є розроблення власних українських стандартів кріплення свердловин: вони можуть містити перевірені елементи API та ISO, але мають враховувати місцеві геолого-технічні умови, доступні матеріали, лабораторну базу і практику експлуатації.

Четвертий етап — кероване виконання операції. Перед цементуванням потрібні кондиціювання бурового розчину, підтвердження об'ємів ємностей, калібрування густиномірів і витратомірів, перевірка змішувального та насосного обладнання, а також погоджений порядок дій за відхилень. Під час закачування в режимі реального часу зіставляють проєктні та фактичні тиск, витрату, густину, об'єм і баланс рідин. Будь-яке відхилення має оцінюватися з позиції впливу на бар'єр, а не лише на тривалість операції. Простежуваність забезпечує цифровий паспорт цементування з вихідними даними, лабораторними протоколами, графіками параметрів і зафіксованими управлінськими рішеннями.

П'ятий етап — верифікація та моніторинг. Якість первинного цементування оцінюють сукупністю непрямих і прямих ознак: балансом об'ємів, характером тиску, випробуванням герметичності, температурними та акустичними дослідженнями, контролем міжколонних тисків. Висновок не повинен ґрунтуватися на одному каротажному показнику без урахування умов його отримання. Після введення свердловини в експлуатацію потрібне спостереження за тисками в затрубних і міжколонних просторах, їх трендами та зв'язком з технологічними режимами. Це перетворює цементування з разової операції на керований процес зворотного зв'язку.

Вітчизняні композитні тампонажні системи. Перспективним напрямом є перехід від польового дозування великої кількості окремих добавок до фабричного виготовлення сухих композитних сумішей із заданими властивостями. За підходом ТОВ «УКРСКС» базові цементи, мінеральні компоненти та реагенти проходять промислове змішування, лабораторний контроль і, за потреби, коригування складу відповідно до технічного завдання [9]. Це знижує ризик помилок дозування та недостатньої гомогенізації на свердловині, дає змогу обмежити надмірне введення сповільнювачів і підвищує відтворюваність часу загуснення, реології, водовіддачі та набору міцності.

Практичне застосування. Важливим практичним користувачем технологій кріплення глибоких свердловин є ТОВ «Полтавська бурова компанія», яке на офіційному сайті позиціонується як найбільша приватна бурова компанія України та виконує буріння, капітальний ремонт, інтенсифікацію і відновлення свердловин [13]. На офіційному сайті ТОВ «УКРСКС» Полтавську бурову компанію поряд з іншими підприємствами наведено серед замовників [14]. Це підтверджує практичну затребуваність вітчизняних матеріалів, лабораторного підбору рецептур і технологічного супроводу під час кріплення свердловин.

У відкритому каталозі компанії представлені полегшені матеріали ОТМ-5 та ОТМ-6 із заявленою густиною розчину відповідно 1,50±0,04 і 1,60±0,04 г/см³ для температур до 105 °C [10]. Їх застосування в слабких і поглинаючих інтервалах зменшує гідростатичне навантаження на пласти та підвищує ймовірність повного заповнення затрубного простору. Полегшені розширювальні матеріали ОРТМ-50 і ОРТМ-75 поєднують знижену густину з регульованим розширенням; окремі модифікації мають понижену водовіддачу, підвищену седиментаційну стійкість і газоблокувальні властивості. Такі системи спрямовані одночасно на попередження поглинань та зниження ризику мікрозазорів після тужавіння.

Для глибоких високотемпературних інтервалів найбільший інтерес мають розширювальні матеріали серії РТМ-120, для яких виробником заявлений діапазон застосування 80–200 °C. Каталог включає модифікації з пониженою водовіддачею та газоблокувальними властивостями, а також обважені системи густиною 1,95–2,30 г/см³ для умов аномально високих пластових тисків [10]. Окремим вітчизняним напрямом є модифіковані шлакопіщані цементи ШПЦС-120М для температур приблизно 80–160 °C. Наведені параметри слід розглядати як заявлені характеристики виробника, що мають підтверджуватися випробуваннями конкретної партії за розрахункових умов свердловини.

Лабораторне забезпечення. За інформацією ТОВ «УКРСКС», мережа лабораторій розташована в Києві, Полтаві та Хмельницькому, а Київська і Полтавська лабораторії акредитовані відповідно до вимог ДСТУ EN ISO/IEC 17025 [11]. Обладнання включає термобаричні консистометри Chandler 7222, SKS-700 і КЦ-3, ультразвуковий аналізатор Chandler 4265, ротаційні віскозиметри Fann та Ofite, прилади для визначення фільтраційних втрат, лінійного розширення і фізико-механічних характеристик цементного каменю. Це дозволяє моделювати час загуснення, реологію, водовіддачу, стабільність, розширення та розвиток міцності за температури й тиску, наближених до свердловинних.

Внесок у сталий розвиток. Локалізація досліджень, виробництва і технологічного супроводу формує в Україні повний цикл створення тампонажної системи — від аналізу гірничо-геологічних умов та рецептури до постачання матеріалів і цементування «під ключ». За оприлюдненими компанією даними, з 2007 року накопичено досвід понад 12,5 тис. свердловино-операцій, створено понад 150 розробок та організовано випуск більш як 30 типів і модифікацій матеріалів [12]. Ці дані мають характер інформації виробника, але демонструють наявність промислової бази для масштабування вітчизняних технологій. Екологічний ефект виникає через зменшення поглинань, повторних цементувань і ризику міграції флюїдів; економічний — через скорочення простоїв, імпортної та логістичної залежності; соціальний — через розвиток інженерних компетенцій, робочих місць і безпеки експлуатації свердловин.

Інвестиційний пріоритет. У контексті Одинадцятої міжнародної науково-практичної конференції «Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування» об’єктом інвестицій має бути не лише спорудження свердловин, а й повний вітчизняний технологічний ланцюг їх якісного кріплення. Доцільно фінансувати розроблення рецептур тампонажних матеріалів, модернізацію лабораторій, дослідно-промислові випробування, масштабування виробництва композитних сумішей, підготовку фахівців та створення українських стандартів. Послідовну публічну підтримку українських розробок з боку ТОВ «УКРСКС» [9–12] можна розглядати як прояв технологічного патріотизму: компанія не заперечує корисності міжнародних методик, але відстоює право вітчизняних технологій на кваліфіковане випробування і промислове застосування. Підтримка таких підприємств має здійснюватися через прозорий конкурсний відбір за результатами випробувань, промисловою надійністю та сукупною вартістю життєвого циклу свердловини.

Матеріали та ресурсоефективність. Сталий розвиток вимагає зменшувати матеріаломісткість без погіршення бар’єрних властивостей. Першочерговими є точний розрахунок об’ємів за даними кавернометрії, оптимізація запасу цементу та недопущення браку. Використання шлаковмісних і інших мінеральних компонентів може підтримувати ресурсоефективність, однак висновок про менший вуглецевий слід потребує оцінки

життєвого циклу. Аналогічно геополімерні матеріали мають потенціал для зональної ізоляції, але їх прокачуваність і час тужавіння чутливі до рецептури та умов [8]. Новизна матеріалу не скасовує необхідності повної лабораторної кваліфікації та дослідно-промислової перевірки.

Запропоновані показники результативності. Для поєднання інженерної якості зі сталим розвитком доцільно використовувати набір показників, що контролюється на рівні окремої свердловини та портфеля проєктів: частка інтервалів із підтвердженою зональною ізоляцією; кількість випадків стійкого міжколонного тиску; частота ремонтного цементування; непродуктивний час через ускладнення; витрата тампонажних матеріалів на один метр закріпленого інтервалу; вуглецева інтенсивність матеріалів; обсяг відходів і повернених рідин; частка матеріалів і технологічних операцій українського походження; тривалість та надійність ланцюга постачання; повнота цифрової документації; кількість відхилень, для яких виконано аналіз першопричин. Такі показники дають змогу порівнювати технології не за ціною тонни цементу, а за вартістю та надійністю бар'єру протягом усього життєвого циклу.

Взаємозв'язок технічних критеріїв якісного кріплення свердловин з екологічними, економічними та технологічними результатами сталого розвитку наведено в таблиці.

Таблиця

Взаємозв'язок технічної якості кріплення і сталого розвитку

Елемент системи	Критерій якості	Ефект сталого розвитку
Вихідні дані	Термобарична модель, геометрія стовбура, сумісність рідин	Менше аварій, втрат матеріалів і непродуктивного часу
Конструкція і оснастка	Розрахункове центрування та керована гідравліка	Надійна ізоляція пластів і захист підземних вод
Тампонажна система	Адаптована композитна суміш: густина, стабільність, розширення	Довший строк служби бар'єру, менше втрат і ремонтів
Лабораторна база	Термобаричні випробування конкретної партії матеріалу	Доказовий вибір рецептури, розвиток українських компетенцій
Виробництво і логістика	Фабричне змішування та локальні виробничі майданчики	Менша імпортна залежність і стійкіше постачання
Контроль операції	Безперервна реєстрація тиску, витрати, густини та об'ємів	Прозорість рішень, виробнича безпека, відтворюваність
Моніторинг	Верифікація ізоляції та контроль міжколонних тисків	Раннє виявлення ризиків і запобігання витокам

Висновки. Застосування вітчизняних композитних тампонажних систем є практичним інструментом сталого розвитку нафтогазового комплексу України. Їх перевага полягає не у формальному походженні матеріалу, а в можливості швидкої адаптації рецептури, фабричного змішування, лабораторної перевірки та технологічного супроводу в умовах конкретної свердловини. Полегшені системи знижують навантаження на поглинаючі пласти, розширювальні — спрямовані на зменшення ризику мікрозазорів, а високотемпературні й обважені модифікації розширюють можливості якісного кріплення глибоких інтервалів. Міжнародні стандарти ISO та API мають використовуватися як уніфікована методична основа для випробувань і управління бар'єрами, але не повинні підміняти інженерне проєктування та оцінювання придатності системи до українських гірничо-геологічних умов. Поєднання вітчизняних розробок, акредитованої лабораторної інфраструктури, локалізованого виробництва і контролю життєвого циклу зменшує ризики міжпластових перетоків, забруднення вод, повторного цементування, простоїв та логістичної залежності. Подальше масштабування таких технологій потребує відкритих протоколів випробувань, аналізу промислових результатів і розвитку національної нормативної бази на основі кращого українського та міжнародного досвіду. Тому

інвестиційна політика у сфері надрокористування має включати цільову підтримку українських виробників тампонажних матеріалів, лабораторної інфраструктури та дослідно-промислових програм, які доводять ефективність вітчизняних рішень у реальних свердловинах.

Список використаних джерел:

1. United Nations. Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. URL: https://sdgs.un.org/2030agenda (дата звернення: 27.09.2026).
2. ISO 16530-1:2017. Petroleum and natural gas industries — Well integrity — Part 1: Life cycle governance. URL: https://www.iso.org/standard/63192.html (дата звернення: 27.09.2026).
3. API Specification 10A. Cements and Materials for Well Cementing. 25th ed. American Petroleum Institute, 2019, with addenda. URL: https://www.api.org/-/media/files/certification/monogram-apiqr/0_api-monogram-apiqr/advisories-updates/updates/api%20specification%2010a%2025th%20edition%20addendum%201%202019 1209.pdf (дата звернення: 27.09.2026).
4. API Standard 65-2. Isolating Potential Flow Zones During Well Construction. American Petroleum Institute. URL: https://www.api.org/~/media/files/policy/exploration/stnd_65_2_e2.pdf (дата звернення: 27.09.2026).
5. Yousuf N., Olayiwola O., Guo B., Liu N. A comprehensive review on the loss of wellbore integrity due to cement failure and available remedial methods. Journal of Petroleum Science and Engineering. 2021. Vol. 207. 109123. DOI: https://doi.org/10.1016/j.petrol.2021.109123.
6. Yang H., Bu Y., Guo S. et al. Mechanical performance of oil-well cement slurries cured and tested under high-temperatures and high-pressures for deep-well applications. Cement and Concrete Research. 2024. Vol. 175. 107355. DOI: https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2023.107355.
7. Hu X., Liu S., Wen C. et al. Failure Mechanism of Zonal Isolation for Cement Sheath Induced by Density Reduction Operations after Liner Casing Cementing. ACS Omega. 2025. Vol. 10, No. 18. DOI: https://doi.org/10.1021/acsomega.5c00006.
8. Hoayek A., Khalifeh M., Hamie H., El-Ghoul B., Zgheib R. Prediction of geopolymer pumpability and setting time for well zonal isolation — Using machine learning and statistical based models. Heliyon. 2023. Vol. 9. e17925. DOI: https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17925.
9. Мазурок П. Ілюзія прориву чи справжній прорив у кріпленні свердловин? ТОВ «УКРСКС». URL: https://ukrsks.com.ua/ua/news/67b1d48a2a7bbbf67589075d (дата звернення: 27.09.2026).
10. Каталог спеціальних тампонажних матеріалів. ТОВ «УКРСКС». URL: https://ukrsks.com.ua/ua/catalogSTM (дата звернення: 27.09.2026).
11. Дослідницька діяльність ТОВ «УКРСКС»: лабораторії, обладнання та методи випробувань. URL: https://ukrsks.com.ua/ua/activity (дата звернення: 27.09.2026).
12. Інформаційні матеріали ТОВ «УКРСКС». Мінеральні ресурси України. 2025. № 3. С. 31. URL: https://mru-journal.com.ua/index.php/mru (дата звернення: 27.09.2026).
13. ТОВ «Полтавська бурова компанія». Офіційний сайт: буріння, капітальний ремонт, інтенсифікація та відновлення свердловин. URL: https://www.pdc.com.ua/ua/ (дата звернення: 27.09.2026).
14. ТОВ «УКРСКС». Наші замовники: ТОВ «Полтавська бурова компанія». Офіційний сайт. URL: https://ukrsks.com.ua/ua (дата звернення: 27.09.2026).

УДК 56:553.04

ФОСИЛІЇ ЯК ОБ'ЄКТ НАДРОКОРИСТУВАННЯ

Іваніна А.В., *к. геол.-мін. н., доцент, antonina.ivanina@lnu.edu.ua;*
Тузяк Я.М, *к. геол. н.; доцент; yaryna.tuzyak@lnu.edu.ua;*
Львівський національний університет імені Івана Франка, Львів, Україна

Досліджено правовий статус фосилій як специфічного об’єкта надрокористування в Україні в контексті чинного екологічного та надрового законодавства. Висвітлено ключові колізії нормативно-правової бази, приклади безгосподарного ставлення до палеонтологічної спадщини в Україні. Запропоновано деякі юридичні та економічні механізми легалізації палеонтологічного промислу, включаючи впровадження палеонтологічного аудиту та створення Державного палеонтологічного кадастру.

Ключові слова: фосилії, надрокористування, палеонтологічна спадщина, правове регулювання палеонтологічного промислу.

FOSSILS AS AN OBJECT OF SUBSOIL USE

Ivanina A.*, Cand. Sci. (Geol.-Mineral.), Associate Professor; antonina.ivanina@lnu.edu.ua;*
Tuzyak Ya.*, Cand. Sci. (Geol.), Associate Professor; yaryna.tuzyak@lnu.edu.ua;*
Ivan Franko National University of Lviv, Lviv, Ukraine

The legal status of fossils as a specific object of subsoil use in Ukraine is examined within the context of current environmental and subsoil legislation. Key conflicts in the regulatory framework and examples of negligent treatment of Ukraine's paleontological heritage are highlighted. Legal and economic mechanisms for legalizing the paleontological trade are proposed, including the implementation of a paleontological audit and the creation of a State Paleontological Cadastre.

Keywords: fossils, subsoil use, paleontological heritage, legal regulation of the paleontological trade.

Вступ. Питання визначення правового статусу фосилій (викопних решток організмів) у системі природокористування є складною міждисциплінарною проблемою на збігу палеонтології, геології, економіки та екологічного права. Традиційно надра розглядаються як джерело мінеральної сировини – корисних копалин, необхідних для промисловості та енергетики. У переліку корисних копалин обмаль фосилій, які є невід’ємною частиною земної кори і водночас мають не тільки прикладну, але й унікальну наукову, культурну та історичну цінність. Це породжує гостру правову дискусію: чи слід розглядати скам’янілості виключно як геологічні утворення під парасолькою загального надрокористування, чи вони потребують окремого правового регулювання як об’єкти особливого статусу? В Україні ця проблема ускладнюється тіньовим ринком, безгосподарним ставленням до палеонтологічних ресурсів, а також недосконалістю профільного законодавства.

Виклад основного матеріалу. Метою дослідження є комплексний аналіз теоретико-правового статусу фосилій як специфічного об’єкта надрокористування в Україні. Завдання: виявлення колізій у чинній нормативно-правовій базі, зазначення економіко-екологічних наслідків тіньового ринку палеонтологічних ресурсів, пропозиції щодо необхідності розробки збалансованого юридичного та фінансово-економічного механізму організації та ведення палеонтологічного промислу. Для досягнення поставленої мети і завдань використано комплекс загальнонаукових та спеціальних методів дослідження: аналіз, синтез застосовано при зборі правової інформації; порівняльно-правовим методом досліджено порушення регулювання обігу фосилій; системно-структурний аналіз є основою для фіксування збитків від нелегальної діяльності щодо видобутку фосилій.

Результати дослідження. Надрокористування – це законодавчо врегульована діяльність, спрямована передусім на геологічне вивчення та видобуток корисних копалин. Згідно з Кодексом України про надра (1994) надра є власністю Українського народу і надаються лише у користування. Будь-який елемент, що містять надра, в тім числі і скам’янілості, які є згідно визначення надр їхньою складовою, автоматично потрапляють під дію загальних правил державного регулювання та мали б відноситися до об’єктів

надрокористування. Проте аналіз чинних юридичних документів дозволяє стверджувати, що не всі скам'янілості віднесені до сфери надрокористування.

За промисловим значенням, науковою та культурною цінністю фосилії, які містять надра України, поділені на такі типи та підтипи.

Перший тип – фосилії для промислового освоєння – офіційно (згідно з "Переліком корисних копалин загальнодержавного значення" (1995) та "Класифікатором корисних копалин" (2008) визнані корисними копалинами загальнодержавного значення, що мають промислове значення та фігурують у державному балансі запасів. Це біогенного походження тверді горючі копалини (кам'яне та буре вугілля, торф), нерудні будівельні матеріали (черепашники, крейда, трепел, опока), коштовне та виробне каміння (бурштин, гагат, скам'янілі дерева). Юридично це корисні копалини, а фактично – фосилії рослинного чи тваринного походження, залишки яких утворюють поклади і родовища. Їхнє промислове освоєння потребує спеціальних дозволів та ліцензування, видобуток регулюється окремими законами, а їхні запаси підлягають обов'язковому обліку у Державному балансі.

Другий тип – фосилії "непромислові" – окрема категорія фосилій, визначена у "Класифікаторі корисних копалин" (2008) у структурі неметаловмісних корисних копалин і віднесені до коштовного та колекційного каміння органогенного походження. Вони не утворюють промислових скупчень, є рідкісними палеонтологічними утвореннями і віднесені до об'єктів з особливою науковою, культурною або колекційну цінність. Можуть бути як об'єктом купівлі-продажу (підтип 1), або їм можуть надати особливий статус і віднести до охоронних об'єктів природно-заповідного чи музейних фондів (підтип 2).

Оскільки палеонтологічні викопні рештки давніх організмів перших двох типів класифікуються як корисні копалини загальнодержавного значення, їхнє вилучення, збір та комерційний обіг регулюються "Кодексом України про надра" (1994). Для легального видобутку або збору таких скам'янілостей з метою створення колекцій чи продажу необхідне отримання відповідних спеціальних дозволів (ліцензій) на користування надрами. Якщо такі фосилії мають декоративний чи ювелірний вигляд, вони класифікуються як виробне або колекційне каміння і обліковуються як нерудні корисні копалини. Якщо йдеться про унікальні наукові фосилії (наприклад, кістки мамутів чи цілісні відбитки доісторичних риб/рослин), які не мають промислового значення, вони розглядаються не в статусі корисної копалини, а як наукові об'єкти чи геологічні (палеонтологічні) пам'ятки. Відповідно до Кодексу України про надра (1994) такі знахідки належать державі та підлягають охороні, а не промисловому обліку в балансі видобутку. В таких випадках межа між науковим об'єктом та промисловим ресурсом практично зникає.

Третій тип – фосилії для наукових потреб чи для вирішення прикладних геологічних завдань. Організації, що здійснюють збори фосилій для наукових досліджень, діють у межах правового поля спеціального надрокористування.

Четвертий тип – фосилії загального користування, або масові палеонтологічні знахідки, які часто трапляються в осадових породах, не є промисловою чи комерційною сировиною; збираються для власних потреб. Вони не є об'єктом оподаткування рентною платою за користування надрами, якщо їх збір не передбачає отримання комерційної/економічної вигоди. Ліцензуванню такий вид діяльності не підлягає.

Отже, як видно з переліку фосилії є об'єктами надрокористування (тип 1; тип 2 підтип 1); або не мати ніякого відношення до корисних копалин і надрокористування і бути віднесені до унікальних об'єктів природно-заповідного фонду у категорії культурної, наукової чи музейної цінності (тип 2 підтип 2) з суворою охороною збоку держави; або бути взагалі без статусу (тип 4).

В нормативних документах України щодо пошуку і видобутку скам'янілостей є багато неточностей і мало конкретики щодо визначення статусу фосилій, оцінки їхньої

унікальності та наукового значення. Це породжує купу різночитань і відмінних тлумачень, порушень законодавства в галузі промислової розробки, неліцензованого видобутку унікальних фосилій і шляхів отримання комерційної вигоди. Механізму отримання спеціальних дозволів на суто палеонтологічні (наукові чи аматорські) пошуки в Україні нема. Контролю за перебігом "палеонтологічного бізнесу" нема.

Відсутність дієвого обліку та чітких процедур призводить до варварського руйнування природної спадщини та безгосподарного відношення до палеонтологічних об'єктів, наслідком яких є економічні збитки для бюджету (несплачена рента за користування надрами), екологічні збитки довкіллю у вигляді зруйнованих ландшафтів, позбавлення українських музеїв унікальних фондів, втрата наукового пріоритету та втрачена вигода від розвитку міжнародного палеонтологічного геотуризму.

Кількість і поширення деструктивних прикладів ганебного відношення до палеонтологічної спадщини в Україні з кожним роком збільшується. Це приховування знахідок промисловими компаніями під час розробки кар'єрів; хижацький видобуток (приклад: нелегальний видобуток бурштину за допомогою мотопомп на Поліссі повністю руйнує породи разом з унікальними інклюзами комах, які знищуються гідроударами або нелегально вивозяться за кордон за безцінь), мародерство «мамонтової фауни» комерційними шукачами заради продажу на чорному ринку; вандалізм на відслоненнях венду з рештками найдавнішої безскелетної докембрійської біоти, яка має світове наукове значення, тощо.

Для виведення ринку фосилій з тіні та збереження природної спадщини пропонується впровадити:

– нормативне розмежування фосилій за унікальністю – класифікувати масовий палеонтологічний матеріал (уламки рослин, безхребетні) як об'єкти загального надрокористування, дозволивши вільний збір з поверхні; а унікальні об'єкти (хребетні, інклюзи, докембрійську біоту) оголосити виключною державною власністю з обов'язковою реєстрацією знахідок;

– палеонтологічний аудит у будівництві та промисловості: зобов'язати забудовників і розробників кар'єрів проводити попередню палеонтологічну експертизу та надавати сезонний доступ науковцям;

– економічне стимулювання надрокористувачів: надрокористувачам, які зупинили роботу техніки та передали унікальну фосилію державі, надавати тимчасові пільги зі сплати рентної плати для компенсації простою;

– дозволити офіційний експорт після палеонтологічної експертизи зі стягненням мита у розмірі 15–20% від реальної ринкової вартості фосилії, а не від ваги брутто каміння;

– створення Державного палеонтологічного кадастру: на базі Держгеонадр створити реєстр критично важливих палеонтологічних геосайтів, або інтегрувати їх до складу Національних природних парків.

Наукова новизна дослідження полягає у тому, що в ньому вперше у вітчизняній науковій практиці здійснено міждисциплінарний синтез палеонтології, економічної геології та екологічного права з метою реформування системи надрокористування. Удосконалено юридичну дефініцію моменту виникнення правовідносин надрокористування щодо фосилій. Дістала подальшого розвитку концепція розмежування палеонтологічних ресурсів за рівнем унікальності на масовий матеріал (об'єкти загального користування) та унікальні знахідки (виключна держвласність), що дозволяє інтегрувати аматорський пошук у легальне економічне поле України та захистити критичні геосайти через Державний палеонтологічний кадастр.

Висновки. Фосилії за своїм походженням і розміщенням в надрах беззаперечно є об'єктами надрокористування. Проте їхня унікальна природа вимагає докорінної еволюції українського законодавства: переходу від суто фіскального та сировинного сприйняття надр до концепції збереження природної спадщини. Запропоновані кроки дозволять не обмежити науковий чи аматорський пошук бюрократичними бар'єрами, а навпаки

створити прозорі, економічно вигідні умови для легального дослідження, капіталізації та захисту палеонтологічних багатств України.

Список використаних джерел:

Класифікатор корисних копалин: ДК 008:2007. [Чинний від 2008-08-01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2008. 26 с.

Кодекс України про надра: Закон України від 27.07.1994 № 132/94-ВР. Відомості Верховної Ради України. 1994.

Про затвердження Порядку державного обліку родовищ, запасів і проявів корисних копалин : Постанова Кабінету Міністрів України; Порядок від 31 січ. 1995 р. № 75. База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. https://zakon.rada.gov.ua/go/75-95-п

References

Derzhspozhyvstandart Ukrainy. (2008). *Klasyfikator korysnykh kopalyn: DK 008:2007* [Classifier of minerals: DK 008:2007] (Official ed.). Kyiv. [in Ukrainian]

Zakon Ukrainy «Kodeks Ukrainy pro nadra» [Law of Ukraine "Subsoil Code of Ukraine"], No. 132/94-VR (1994). Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy. [in Ukrainian]

Kabinet Ministriv Ukrainy. (1995, January 31). *Pro zatverdzhennia Poriadku derzhavnoho obliku rodovyshch, zapasiv i proiaviv korysnykh kopalyn* [On approval of the Procedure for state accounting of fields, reserves and occurrences of minerals] (Resolution No. 75). Legislation of Ukraine. rada.gov.ua [in Ukrainian]

УДК 622.276.66

ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ВИДОБУТКУ ВУГЛЕВОДНІВ НА ПІЗНІЙ СТАДІЇ РОЗРОБКИ РОДОВИЩ: КОМБІНОВАНІ МЕТОДИ (ТБХО, ГРП) І НЕВИРІШЕНІ ПИТАННЯ

Бахшієв Ф.З., *аспірант,* ***ORCID ID 0009-0002-9170-0661, farizbakhshiev@ukr.net;***
Римчук Д.В., *к. тех. н., ORCID ID 0000-0002-1750-9140, danilorymchuk@gmail.com,*
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

Розглянуто сучасний стан методів інтенсифікації видобутку вуглеводнів на пізній стадії розробки родовищ України, коли значна частка залишкових запасів зосереджена в низькопроникних колекторах, а експлуатація ускладнюється кольматацією привибійної зони, відкладеннями парафінів, асфальтенів і смол (АСПВ), обводненням. Наведено порівняльну характеристику гідродинамічних, хімічних, теплових та комбінованих методів і обмежень їх застосування. Розглянуто фізико-хімічні основи термохімічної обробки (ТХО), зокрема її термобарохімічного різновиду (ТБХО), особливості рідин гідравлічного розриву пласта (ГРП), взаємозв'язок розчинення породи-колектора та зміни її фільтраційних властивостей. За результатами огляду наукових і патентних джерел встановлено, що питання сумісності реагентів ТБХО з різними типами рідин ГРП висвітлено переважно якісно, без кількісних даних про інтенсивність екзотермічної реакції залежно від послідовності введення компонентів. Сформульовано невирішені питання та завдання подальших досліджень.

Ключові слова: інтенсифікація видобутку, термобарохімічна обробка, гідравлічний розрив пласта, рідини ГРП, пізня стадія розробки.

HYDROCARBON PRODUCTION STIMULATION AT THE LATE STAGE OF FIELD DEVELOPMENT: COMBINED METHODS (TBCT, HYDRAULIC FRACTURING) AND UNRESOLVED ISSUES

Bakhshiiev F., *postgraduate student, ORCID ID 0009-0002-9170-0661, farizbakhshiev@ukr.net;*
Rymchuk D., *Cand. Sci. (Eng.),* ***ORCID ID 0000-0002-1750-9140, danilorymchuk@gmail.com,***
National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine

The current state of hydrocarbon production stimulation methods at the late stage of field development in Ukraine is considered, when a significant share of remaining reserves is concentrated in low-permeability reservoirs, and well operation is complicated by near-wellbore damage, asphaltene-resin-paraffin deposits (ARPD), and water cut. A comparative characterization of hydrodynamic, chemical, thermal and combined methods and their limitations is given. The physicochemical basis of thermochemical treatment (TCT), including its thermobarochemical variant (TBCT), the features of hydraulic fracturing fluids, and the relationship between rock dissolution and changes in filtration properties are reviewed. The review of scientific and patent sources shows that the compatibility of TBCT reagents with different types of fracturing fluids is covered mostly qualitatively, without quantitative data on the intensity of the exothermic reaction depending on the order of component injection. Unresolved issues and objectives for further research are formulated.

Keywords: production stimulation, thermobarochemical treatment, hydraulic fracturing, fracturing fluids, late stage of development.

Вступ. Переважна більшість основних за видобутком і запасами родовищ України перебуває на пізній стадії розробки, для якої характерні виснаження 80–85 % початкових видобувних запасів, зростання обводненості продукції та погіршення колекторських властивостей привибійної зони пласта (ПЗП); основний видобуток вільного газу (93 %) забезпечують лише 13 родовищ [1]. Нарощування видобутку з родовищ традиційного газу не передбачається, йдеться лише про уповільнення його падіння, яке в середньому оцінюють у 1,5 млрд м³ на рік; у 2020 р. видобуток становив близько 20 млрд м³ за споживання 30–32 млрд м³ [1]. За даними оператора, понад 75 % з понад 140 родовищ, що розробляє бізнес-напрям «Розвідка та видобування» Нафтогазу, виснажені на 80–90 %, а для вилучення залишкових запасів реалізується програма інтенсифікації видобутку [2]. Приріст балансових запасів газу в 2020 р. (9,3 млрд м³) був меншим за половину річного видобутку (20,3 млрд м³) [3]. У 2025 р. видобуток скоротився до майже 17 млрд м³ на тлі ударів по інфраструктурі, а імпорт наблизився до 6 млрд м³ [4]. Значна частка залишкових запасів зосереджена в низькопроникних та важкодоступних колекторах, що ускладнює їх залучення до розробки традиційними методами [5]. Окрім кольматації ПЗП, експлуатацію

ускладнюють асфальтено-смоло-парафінові відклади (АСПВ) [6], тому типова свердловина стикається не з одним конкретним ускладненням, а з їх поєднанням. Оскільки зростання видобутку можливе лише за умови відкриття нових родовищ і освоєння нетрадиційних запасів, а вартість приросту за рахунок нових родовищ, за прогнозними оцінками, зростає [1], інтенсифікація видобутку на діючому фонді, зокрема в низькопроникних колекторах, є практично важливим напрямом підтримання видобутку та підвищення енергетичної незалежності держави.

Мета і методи. Мета роботи – узагальнити сучасний стан методів інтенсифікації видобутку вуглеводнів та визначити невирішені питання поєднання термобарохімічної обробки (ТБХО) з гідравлічним розривом пласта (ГРП). Проаналізовано 48 джерел з відкритого доступу (у списку наведено ключові): вітчизняні та зарубіжні наукові публікації, навчально-методичні видання і патентні документи США та України, які згруповано за функціональними ознаками. Висновки про відсутність окремих даних стосуються лише проаналізованих джерел.

Основний матеріал. Методи інтенсифікації припливу вуглеводнів традиційно класифікують за фізичною природою впливу на пласт: гідродинамічні (ГРП), хімічні (кислотні та кислотно-термічні обробки), теплові, хвильові та імпульсні, а також комбіновані [5]. Порівняльну характеристику основних методів наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Порівняльна характеристика основних методів інтенсифікації видобутку вуглеводнів

Метод	Механізм дії	Основні обмеження
Гідравлічний розрив пласта (ГРП)	Створення та закріплення пропантом провідної тріщини	Висока вартість; ризик кольматації тріщини залишками гелю [5, 7]
Хімічний (кислотна та кислотно-термічна обробка)	Розчинення карбонатної складової породи, утворення каналів розчинення	Малоефективна у пластах великої товщини за низьких швидкостей закачування [5]
Тепловий	Зниження в’язкості вуглеводнів, руйнування органічних відкладів теплом	Значні енерговитрати [8]
Хвильові та імпульсні (віброхвильова, акустична обробка)	Механічне руйнування кольматанту коливаннями/імпульсами тиску	Обмежений радіус дії, низька ефективність за глибокої кольматації [5].
Комбінований (ТБХО)	Екзотермічна реакція реагентів з одночасним тепловим, газовим і кислотним впливом	Потребує точного контролю концентрації реагентів [9]

Кожен з методів має обмежену сферу ефективного застосування, зумовлену його фізико-хімічною природою. Оскільки продуктивні пласти на пізній стадії розробки часто мають комбіновані ускладнення, застосування лише одного методу зазвичай вирішує тільки одну з проблем і знижує сумарну ефективність обробки. Зокрема, для пластів великої товщини за низьких швидкостей закачування кислотні обробки малоефективні, оскільки основна маса кислоти реагує поблизу стовбура свердловини, а до віддалених ділянок надходить уже значною мірою відпрацьованою [5].

ТБХО ґрунтується на використанні екзотермічних окисно-відновних реакцій безпосередньо в свердловині чи пласті, внаслідок яких у ПЗП генеруються тепло та газ під тиском [9, 10]. Поширеним варіантом є застосування пари реагентів на основі амонійних та нітритних сполук, реакція між якими ініціюється досягненням певної пластової температури або значення pH середовища [9]; компоненти можуть закачуватися роздільно, що дає змогу керувати місцем і моментом початку реакції (патентні рішення розглянуто нижче). Ефективність обробки істотно залежить від концентрації та співвідношення реагентів: за недостатньої концентрації реакція та утворений тиск можуть

бути недостатніми для обробки всієї ПЗП, а надлишкова концентрація здатна призводити до неконтрольованого утворення мікротріщин [9]. Лабораторні дослідження циклічних схем показали, що послідовність «ендотермічна – екзотермічна» обробка ефективніша за зворотну з погляду зниження модуля пружності породи, тобто не лише склад реагентів, а й порядок їх взаємодії з іншими розчинами визначає результат [10]. Результати поєднання гідравлічного та кислотного впливу підтверджують можливість підвищення провідності тріщин і продуктивності свердловин [11].

Ефективність ГРП значною мірою визначається властивостями рідини розриву. У практиці застосовують лінійні полімерні гелі, зшиті полімерні гелі підвищеної в'язкості та рідини на основі в'язкопружних поверхнево-активних речовин (VES) [12]. Полімерні системи потребують деструкторів (окисників, ферментів, кислот), а недостатнє руйнування гелю призводить до накопичення полімерних залишків у пропантній пачці та зниження провідності тріщини [7]. Під час послідовного поєднання ГРП з кислотною обробкою неповністю зруйнований гель може екранувати поверхню тріщини від кислоти, а передчасна взаємодія кислоти із загеленою рідиною знижує довжину ефективно обробленої тріщини [13]. У вітчизняних дослідженнях для виснажених газових покладів запропоновано попереднє створення горизонтальних каналів у ПЗП гідропіскоструминною перфорацією перед ГРП [14]. Аналогічні питання сумісності виникають і щодо взаємодії реагентів ТБХО з різними типами рідин ГРП.

Кінцевою метою обробки є не сама хімічна чи теплова дія, а покращення фільтраційних характеристик ПЗП, тому важливий взаємозв'язок між розчиненням породи-колектора та зміною її проникності. Розчинення карбонатної породи кислотою призводить до утворення каналів розчинення, а їх форма істотно залежить від швидкості закачування: за оптимальної швидкості в експерименті на кернах досягнуто максимального зростання проникності (приблизно в 11 разів), а за меншої чи більшої швидкості канали набували конічної або надмірно розгалуженої форми, що знижувало ефективність [15]. Водночас розчинення не завжди покращує фільтраційні властивості: вивільнення дрібних частинок з подальшою міграцією та осадженням у порових каналах спричиняє їх часткову закупорку [16], а інтенсивність міграції залежить від типу іонів у розчині та температури [17]. Для ТБХО це питання прямо актуальне, оскільки кислотна складова реагентної системи може одночасно розчиняти породу, а отже, впливати на форму каналів і міграцію частинок. Отже, розчинність породи в технологічному розчині є необхідною, але недостатньою умовою для висновку про покращення фільтраційних властивостей; без прямих вимірювань проникності до та після обробки такий висновок лишається обґрунтованим припущенням.

Патентний пошук виявив охоронні документи чотирьох функціональних груп: термохімічні реагентні системи, рідини ГРП та керування їх властивостями, кислотна стимуляція карбонатних колекторів, контроль міграції дрібних частинок. До першої групи належать, зокрема, спосіб видалення водяних блокувань у щільних газових колекторах термохімічними рідинами з ініціюванням реакції пластовою температурою (орієнтовно 50–100 °C) або заданим pH [18], дивертування обробки термохімікатами [9], подача екзотермічних реагентів концентричними гнучкими трубами для керованого змішування в пласті [19] та активатор реакції на основі кислот, що утворюються з лактонів [20]. Найближчим за змістом є патент US 9,488,042, у якому екзотермічний компонент (амонійна та нітритна сполуки) вводиться в рідину розриву з в'язким компонентом і пропантом для створення імпульсу тиску та додаткових тріщин у газовмісному пласті [21]. Виявлені вітчизняні патентні документи стосуються кислотно-реагентних складів для боротьби з органічними відкладеннями та декольматації ПЗП [22, 23].

Новизна. Поєднання екзотермічних реагентів з рідиною розриву для газовмісних пластів описано в зарубіжних розробках [21]. Водночас у проаналізованих джерелах не виявлено систематичних кількісних даних про перебіг екзотермічної реакції ТБХО в поєднанні з рідинами ГРП різних типів, що застосовуються на родовищах України

(загелений кислотний розчин, кислота уповільненої дії на основі VES, частково нейтралізований розчин, лінійний і зшитий гелі), залежно від послідовності введення реагентів і температури; такі питання розглянуто фрагментарно та переважно якісно. Вітчизняні наукові роботи охоплюють або термокислотні обробки без ГРП, або ГРП без термобарохімічного компонента, а вітчизняних патентів з цього питання не виявлено.

Висновки.

1. Комбіновані підходи, що поєднують кілька різних за природою механізмів впливу на пласт, є перспективним напрямом інтенсифікації видобутку на пізній стадії розробки: для гідравлічно-кислотного впливу це підтверджено експериментальними результатами [11, 13], тоді як для ТБХО в поєднанні з ГРП кількісних даних недостатньо.

2. У проаналізованих джерелах відсутні систематизовані кількісні дані щодо інтенсивності екзотермічної реакції ТБХО залежно від типу рідини ГРП та послідовності введення компонентів.

3. Розчинність породи-колектора є необхідною, але недостатньою умовою покращення фільтраційних властивостей: результат залежить від співвідношення утворення каналів розчинення та міграції дрібних частинок, тому дослідження розчинності потребують доповнення фільтраційними випробуваннями.

4. Завдання подальших досліджень: експериментальне вивчення перебігу екзотермічних реакцій розчинів ТБХО в поєднанні з основними типами рідин ГРП за різної послідовності введення реагентів і температури; дослідження розчинності розклинювального матеріалу та породи-колектора; обґрунтування критеріїв підбору сумісних реагентних систем для комбінованої технології ТБХО, суміщеної з ГРП.

Список використаних джерел:

1. Каплін, М., Білан, Т., Макаров, В., & Перов, М. (2022). Математична модель прогнозування видобутку вуглеводнів на основі часових залежностей періодів розробки родовищ нафти і природного газу. *Системні дослідження в енергетиці*, 1(70), 29–37. https://doi.org/10.15407/srenergy2022.01.029

2. *«Розвідка та видобування» – бізнес-напрям Нафтогазу, що займається пошуком, розвідкою та розробкою нафтогазових родовищ і видобутком вуглеводнів.* (б. д.). Нафтогаз України. https://www.naftogaz.com/business/exploration-and-production-business-unit

3. *Електронна система подання та аналізу звітності*. (б. д.). Головна - Електронна система подання та аналізу звітності. https://eiti.gov.ua/resursi-rozvidka-ta-vidobuvannya/gas_2022/

4. *Скільки газу видобули в Україні у 2025 році? 5 подій нафтогазового сектору України – Національна асоціація добувної промисловості України*. (2026). Національна асоціація добувної промисловості України. https://neiau.com.ua/skilky-gazu-vydobuly-v-ukrayini-u-2025-roczi-5-podij-naftogazovogo-sektoru-ukrayiny/

5. Орловський, В. М., Білецький, В. С., & Сіренко, В. І. (2023). *Нафтогазовилучення з важкодоступних і виснажених пластів*. Новий Світ - 2000. https://repository.kpi.kharkov.ua/items/7919e89d-89f6-4b29-a232-a6b551ea8d3b

6. Копей, І. Б., Середюк, В. Д., Дем'янчук, Я. М., & Лялюк, М. Я. (2021). Використання комплексної дії для запобігання та ліквідації асфальто-смоло-парафінових відкладів у стовбурі свердловини. *Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу*, 2(51), 47–54. https://doi.org/10.31471/1993-9965-2021-2(51)-47-54

7. Almubarak T., Ng J. H. C., AlKhaldi M., Panda S., Nasr-El-Din H. A. (2020) Insights on potential formation damage mechanisms associated with the use of gel breakers in hydraulic fracturing. *Polymers*, 12(11). Article 2722. https://doi.org/10.3390/polym12112722

8. In situ combustion: A comprehensive review of the current state of knowledge. (2023). *Energies*. 16(17). Article 6306. https://doi.org/10.3390/en16176306

9. *Systems, methods, and compositions for reservoir stimulation treatment diversion using thermochemicals* (U.S. Patent No.11,268,017 B2). (2022) U. S. Patent and Trademark Office. https://patents.google.com/patent/US11268017B2/en

10.A novel approach to stimulating tight reservoirs using cyclic thermochemical fluids. (2025). *Energy & Fuels*, 39(1), 1234-1245. https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.5c02117

11. Composite stimulation technology for improving fracture length and conductivity of unconventional reservoirs. (2023). *Frontiers in Physics*. 11. Article 1181302. https://doi.org/10.3389/fphy.2023.1181302

12.Kang W., Mushi S. J., Yang H., Wang P., Hou X. (2020). Development of smart viscoelastic surfactants and its applications in fracturing fluid: A review. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 190. Article 107107. https://doi.org/10.1016/j.petrol.2020.107107

13. Optimization of fracturing fluid and retarded acid for stimulating tight naturally fractured bedrock reservoirs. (2022). *ACS Omega*, 7(22). 18910-18921. https://doi.org/10.1021/acsomega.2c01612

14. *Підвищення ефективності гідравлічного розриву пласта у свердловинах на виснажених газових покладах*. (2020). Івано-Франківській національний технічний університет нафти і газу. http://elar.nung.edu.ua/bitstream/123456789/9466/1/9575p.pdf

15. Mohammadi S. (2024). Mechanistic analysis of matrix-acid treatment of carbonate formations: An experimental core flooding study. *Heliyon*, 10(3), Article e24936. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e24936

16. *Formation damage from fines migration*. (2025). *Society of Petroleum Engineers*. https://onepetro.org/spe/general-information/1599/Formation-damage-from-fines-migration

17. Effect of type of ion and temperature on fines migration induced by mineral reactions during water injection into carbonate rocks. (2023). *Journal of Environmental Management, 344*, Article 118501 2023. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118193

18. *Removal of water blockage in tight gas reservoir using thermochemical fluids* (U.S. Patent No. 11,208,877 B2). (2021). U. S. Patent and Trademark Office. https://patents.google.com/patent/US11208877B2/en

19. *Multilateral well drilled with underbalanced coiled tubing and stimulated with exothermic reactants* (U.S. Patent No. 10,087,736 B1). (2018). U. S. Patent and Trademark Office. https://patents.google.com/patent/US10087736B1/en?oq=10%2c087%2c736

20. *Activator for plain and foamed exothermic reaction in a wellbore* (U.S. Patent No. 12,319,870 B1). (2025). U. S. Patent and Trademark Office. https://patents.google.com/patent/US12319870B1/en

21. Al-Nakhli A. R., Abass H. H., Hilab V. V., Khan M. R., Al-Otaibi A. S. (2016). *Chemically-induced pulsed fracturing method* (U.S. Patent No. 9,488,042 B2). U. S. Patent and Trademark Office. https://patents.google.com/patent/US9488042B2/en

22. *Органічний композит очистки привибійної зони нафтогазонасичених пластів* (Патент України № 108793). (2015). Державний дипломний реєстр. https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/889336/

23. *Інгібітор асфальтово-смолистих та парафінових відкладів* (Патент України № 114234). (2017). База патентів України. http://uapatents.com/6-114234-ingibitor-asfaltovo-smolistikh-ta-parafinovikh-vidkladiv.html

References

Activator for plain and foamed exothermic reaction in a wellbore (U.S. Patent No. 12,319,870 B1). (2025). U.S. Patent and Trademark Office. https://patents.google.com/patent/US12319870B1/en

Al-Nakhli, A. R., Abass, H. H., Hilab, V. V., Khan, M. R., & Al-Otaibi, A. S. (2016). *Chemically-induced pulsed fracturing method* (U.S. Patent No. 9,488,042 B2). U.S. Patent and Trademark Office. https://patents.google.com/patent/US9488042B2/en

Almubarak, T., Ng, J. H. C., AlKhaldi, M., Panda, S., & Nasr-El-Din, H. A. (2020).

Insights on potential formation damage mechanisms associated with the use of gel breakers in hydraulic fracturing. *Polymers*, 12(11), Article 2722. https://doi.org/10.3390/polym12112722

Composite stimulation technology for improving fracture length and conductivity of unconventional reservoirs. (2023). *Frontiers in Physics,* 11, Article 1181302. https://doi.org/10.3389/fphy.2023.1181302

Effect of type of ion and temperature on fines migration induced by mineral reactions during water injection into carbonate rocks. (2023). *Journal of Environmental Management,* 344, Article 118501. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118193

Electronic reporting and analysis system. (n.d.). Home – Electronic reporting and analysis system. https://eiti.gov.ua/resursi-rozvidka-ta-vidobuvannya/gas_2022/ [in Ukrainian]

Exploration and Production – Naftogaz business unit engaged in search, exploration, development of oil and gas fields and hydrocarbon production. (n.d.). Naftogaz of Ukraine. https://www.naftogaz.com/business/exploration-and-production-business-unit [in Ukrainian]

Formation damage from fines migration. (2025). *Society of Petroleum Engineers*. https://onepetro.org/spe/general-information/1599/Formation-damage-from-fines-migration

How much gas was produced in Ukraine in 2025? 5 events of the oil and gas sector of Ukraine. (2026). National Association of Extractive Industry of Ukraine. https://neiau.com.ua/skilky-gazu-vydobuly-v-ukrayini-u-2025-roczi-5-podij-naftogazovogo-sektoru-ukrayiny/ [in Ukrainian]

Improving the efficiency of hydraulic fracturing in wells in depleted gas fields. (2020). Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas. http://elar.nung.edu.ua/bitstream/123456789/9466/1/9575p.pdf [in Ukrainian]

In situ combustion: A comprehensive review of the current state of knowledge. (2023). *Energies,* 16(17), Article 6306. https://doi.org/10.3390/en16176306

Inhibitor of asphalt-resin and paraffin deposits (Ukrainian Patent No. 114234). (2017). Ukrainian Patent Database. http://uapatents.com/6-114234-ingibitor-asfaltovo-smolistikh-ta-parafinovikh-vidkladiv.html [in Ukrainian]

Kang, W., Mushi, S. J., Yang, H., Wang, P., & Hou, X. (2020). Development of smart viscoelastic surfactants and its applications in fracturing fluid: A review. *Journal of Petroleum Science and Engineering,* 190, Article 107107. https://doi.org/10.1016/j.petrol.2020.107107

Kaplin, M., Bilan, T., Makarov, V., & Perov, M. (2022). Mathematical model for forecasting hydrocarbon production based on time dependences of development periods of oil and natural gas fields. *System Research in Energy,* 1(70), 29–37. https://doi.org/10.15407/srenergy2022.01.029 [in Ukrainian]

Kopei, I. B., Serediuk, V. D., Demianchuk, Ya. M., & Lialiuk, M. Ya. (2021). Use of complex action to prevent and eliminate asphalt-resin-paraffin deposits in the wellbore. *Scientific Bulletin of Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,* 2(51), 47–54. https://doi.org/10.31471/1993-9965-2021-2(51)-47-54 [in Ukrainian]

Mohammadi, S. (2024). Mechanistic analysis of matrix-acid treatment of carbonate formations: An experimental core flooding study. *Heliyon,* 10(3), Article e24936. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e24936

Multilateral well drilled with underbalanced coiled tubing and stimulated with exothermic reactants (U.S. Patent No. 10,087,736 B1). (2018). U. S. Patent and Trademark Office. https://patents.google.com/patent/US10087736B1/en?oq=10%2c087%2c736

A novel approach to stimulating tight reservoirs using cyclic thermochemical fluids. (2025). *Energy & Fuels*, 39(1), 1234-1245. https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.5c02117

Optimization of fracturing fluid and retarded acid for stimulating tight naturally fractured bedrock reservoirs. (2022). *ACS Omega*, 7(22). 18910-18921. https://doi.org/10.1021/acsomega.2c01612

Organic composite for cleaning the bottomhole zone of oil and gas saturated formations (Ukrainian Patent No. 108793). (2015). Ukrainian Patent Database. https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/889336/ [in Ukrainian]

Orlovskyi, V. M., Biletskyi, V. S., & Sirenko, V. I. (2023). *Hydrocarbon recovery from hard-to-reach and depleted reservoirs*. Novyi Svit - 2000. https://repository.kpi.kharkov.ua/items/7919e89d-89f6-4b29-a232-a6b551ea8d3b [in Ukrainian]

Removal of water blockage in tight gas reservoir using thermochemical fluids (U.S. Patent No. 11,208,877 B2). (2021). U. S. Patent and Trademark Office. https://patents.google.com/patent/US11208877B2/en

Systems, methods, and compositions for reservoir stimulation treatment diversion using thermochemicals (U.S. Patent No.11,268,017 B2). (2022) U. S. Patent and Trademark Office. https://patents.google.com/patent/US11268017B2/en

УДК 553.9

СТАТИЧНА 3D МОДЕЛЬ СКЛАДНОПОБУДОВАНОЇ НАСУВНОЇ ТЕКТОНІКИ ПЕРЕДКАРПАТСЬКОГО ПРОГИНУ ЯК ОСНОВА ОЦІНКИ РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ВУГЛЕВОДНІВ

Олексюк І.І.*[1]*, *Iryna.Oleksiuk@Ukrnafta.com;*
Ванчак О.О.*[2]*, *Oksana.Vanchak@Ukrnafta.com;*
АТ «УКРНАФТА», м. Івано-Франківськ, Україна

Вивчення перспектив нафтогазоносності та напрямків пошуково-розвідувальних робіт в Передкарпатському прогині є одним із актуальних геологічних завдань, особливо в умовах виснаженості уже існуючих родовищ. З метою комплексної оцінки перспектив нафтогазоносності побудовано статичну модель насувної тектоніки, що дозволить визначити перспективні ділянки, оцінити перспективні ресурси та обґрунтувати закладання нових свердловин

Ключові слова: Передкарпатський прогин, моделі, перспективи, ресурси, нафта, газ

STATIC 3D MODEL OF THE COMPLEX THRUST TECTONIC STRUCTURE OF THE PRE-CARPATHIAN FOREDEEP AS A BASIS FOR HYDROCARBON RESOURCE POTENTIAL ASSESSMENT

Oleksiuk I.*[1]*, *Iryna.Oleksiuk@Ukrnafta.com;*
Vanchak O.*[2]*, *Oksana.Vanchak@Ukrnafta.com;*
"UKRNAFTA", Ivano-Frankivsk, Ukraine

The study of hydrocarbon prospectivity and the identification of exploration targets within the Pre-Carpathian Foredeep remain among the most pressing geological challenges, particularly under conditions of depletion of existing oil and gas fields. To provide an integrated assessment of hydrocarbon potential, a static model of the thrust tectonic framework has been developed. This model enables the delineation of prospective areas, the estimation of prospective hydrocarbon resources, and the substantiation of locations for new exploration and appraisal wells.

Keywords: Pre-Carpathian Foredeep, model, prospects, resources, oil, gas

Найефективнішим способом зниження інвестиційних ризиків у розвідці нафти й газу є оцінка наявності, типу та обсягів вуглеводнів у перспективній структурі ще до початку буріння. Інтерпретація сейсмічних даних дає змогу оконтурити замкнені структури та виявити потенційні підземні пастки вуглеводнів, однак не забезпечує надійного прогнозування їхнього флюїдонасичення. Буріння в межах замкненої структури, навіть поблизу нафтового чи газового родовища, не гарантує виявлення аналогічного типу флюїдів. Тому ефективна геологорозвідка потребує методології, яка дає змогу оцінити ймовірність успіху з урахуванням наявних даних і пов'язаних із ними невизначеностей.

Основною метою проєкту стала систематизація та цифрова інтеграція наявної геолого-геофізичної інформації АТ «Укрнафта» для комплексної оцінки перспектив нафтогазоносності Передкарпатського прогину. Це дає змогу уточнити особливості геологічної будови перспективних структур, реконструювати можливі шляхи міграції вуглеводнів, підвищити вірогідність прогнозів та визначити нові перспективні об'єкти, зокрема у піднасувних структурах.

Карпати є однією з найбільших гірських систем Центральної Європи. Гірські хребти простягаються дугоподібною структурою завдовжки понад 1500 км від Гайнбурзьких Карпат в Австрії до району міста Ниш у Сербії. У тектонічному відношенні Передкарпатський прогин є молодою альпійською областю опускання земної кори, яка розміщена між дислокованою Карпатською покривно-складчастою спорудою і Волино-Подільською плитою.

Передкарпатський прогин на території України представлений (Рис.1) такими зонами:

1. Скибовою зоною.
2. Бориславсько-Покутською зоною.
3. Самбірською зоною.
4. Більче-Волицькою зоною.

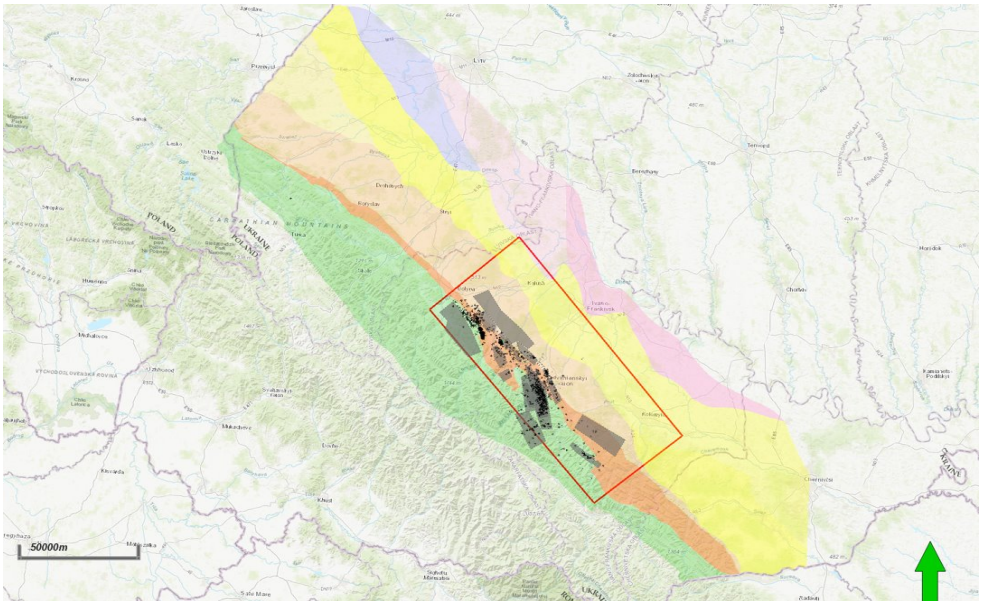


Рис. 1. Фрагмент геологічної карти з нанесеною ділянкою робіт

Основний етап формування Передкарпатського прогину припадає на палеогеновий період. У цей час відбувалося інтенсивне занурення басейну седиментації флішових відкладів одночасно з підняттям і денудацією прилеглої платформної території.

Зовнішня зона Передкарпатського прогину сформувалася на платформній основі, тоді як Внутрішня зона розвивалася на більш рухливій основі. Зони розділені регіональним насувом, по якому Внутрішня зона насунута на Зовнішню. Карпатська складчаста область, своєю чергою, насунута на південний край Передкарпатського прогину.

Подібна геологічна будова характерна також для Аппалачів, Альп та інших складчасто-насувних систем світу. Головна геологічна схожість полягає в архітектурі цих гірських систем. Вони утворилися за принципом «тонкошкірої тектоніки» (thin-skinned tectonics), де потужні осадові товщі були зірвані з кристалічного фундаменту і зміщені в бік платформи. Досвід розвідки Південних Аппалачів, особливо у сфері пошуку глибокозалягаючих піднасувних пасток і освоєння сланцевих товщ, може бути використаний як ефективна модель для дорозвідки глибоких горизонтів Передкарпатського прогину.

Об'єктом дослідження є центральна частина Передкарпатського прогину (Рис. 1), де виконано побудову регіональної геологічної моделі та проведено оцінку перспектив нафтогазоносності.

У межах цієї території Скибова зона представлена відкладами крейдового, палеогенового та частково неогенового віку. Вона є великою безкореневою тектонічною одиницею, складеною серією лусок (скиб) значного простягання. Орівська та Берегова скиби значною мірою перекривають структури першого та другого ярусів Бориславсько-Покутської зони. У різні роки тут розроблялися 23 нафтові родовища, а численні природні нафтогазопрояви підтверджують високі перспективи відкриття покладів вуглеводнів як у глибоких, так і у відносно неглибоких горизонтах.

Бориславсько-Покутська зона представлена відкладами палеогену і неогену. Палеогенові відклади потужністю від 350 до 2500 м мають характерну флішову будову з ритмічним перешаруванням пісковиків, алевролітів, аргілітів, гравелітів і вапняків. Основні родовища району пов'язані з пісковиками ямненської, манявської, вигодської, бистрицької та менілітової світ. Зона утворена серією лускуватих складок, насунутих одна на одну у північно-східному напрямку. Поєднання інтенсивної складчастості та горизонтальних переміщень призвело до формування багатоярусної геологічної будови, що створює сприятливі умови для утворення складних пасток вуглеводнів.

Самбірська зона, порівняно з Бориславсько-Покутською, характерна відсутністю флішових відкладів. Покрив складений інтенсивно дислокованими червоноколірними моласовими відкладами завтовшки 2,5-3,0 км. Тут поширені поклади калійних та кам'яних солей, озокериту і полімінеральних солей. Водночас ця зона традиційно вважається малоперспективною щодо локалізації значних покладів нафти і газу.

Більче-Волицька зона представлена відкладами мезозою та неогену. У мезозойському розрізі продуктивні товщі представлені пористо-кавернозно-тріщинуватими вапняками верхньої юри та пісковиками нижньої і верхньої крейди. У неогенових відкладах нафтогазоносними є лінзи пісковиків косівської світи баденського ярусу (до 1200 м) і більш витримані піщані пласти дашавської світи сарматського ярусу (до 3500 м), з якими пов’язана більшість родовищ нафти і газу. Продуктивними у розрізі платформного автохтону Карпат є пласти органогенно-уламкових вапняків верхньої юри, пісковиків верхньої крейди та неогену.

Вихідними даними для побудови регіональної геологічної моделі стали:

- координати та інклінометрія всього фонду свердловин;
- каротажні діаграми ГДС;
- регіональні структурні карти та звіти ГЕО минулих років.

Побудова регіональної 3D-моделі передбачає не лише відтворення геометрії геологічних поверхонь, а й формування єдиного цифрового каркасу геологічної будови басейну. Метою є створення цифрового регіонального каркасу, який стане основою для реконструкції історії басейну та моделювання шляхів міграції вуглеводнів.

Площа дослідження становить 4953 км^2, а глибина моделювання сягає 8 км. Під час побудови моделі було використано дані 1186 свердловин та більше 20 регіональних геологічних розрізів. Відтворено будову Берегової та Орівської скиб, Внутрішньої зони, Самбірського покриву та Більче-Волицької зони.

Одним із ключових результатів проєкту стало об'єднання локальних моделей більш ніж двадцяти нафтогазових родовищ у єдину регіональну цифрову модель Передкарпатського прогину.

Створена регіональна 3D-геологічна модель (Рис.2) забезпечує просторово узгоджене представлення складної геологічної будови Передкарпатського прогину. Такий підхід створює надійну основу для планування геологорозвідувальних робіт, оцінки ресурсного потенціалу надр, аналізу підземних вод, мінеральних ресурсів та прийняття обґрунтованих інвестиційних рішень.

Крім традиційних завдань нафтогазової геології, технологія цифрового моделювання осадових басейнів може бути використана для оцінки перспектив природного водню, геотермальних систем, розсолів із підвищеним вмістом літію та інших критичних елементів, а також для проєктів із захоплення і зберігання вуглецю (CCS).

Створена 3D-модель є надійним цифровим фундаментом, що достовірно відображає сучасну геометрію пластів, тектонічну будову та просторове поширення колекторів. Водночас вона характеризує лише сучасний стан геологічної системи та не дає відповіді на питання, коли, де і яким чином відбувалися процеси генерації, міграції та акумуляції вуглеводнів. Для вирішення цих завдань необхідним є перехід від статичного геологічного моделювання до динамічного моделювання нафтогазової системи з урахуванням геологічної еволюції басейну в часі.

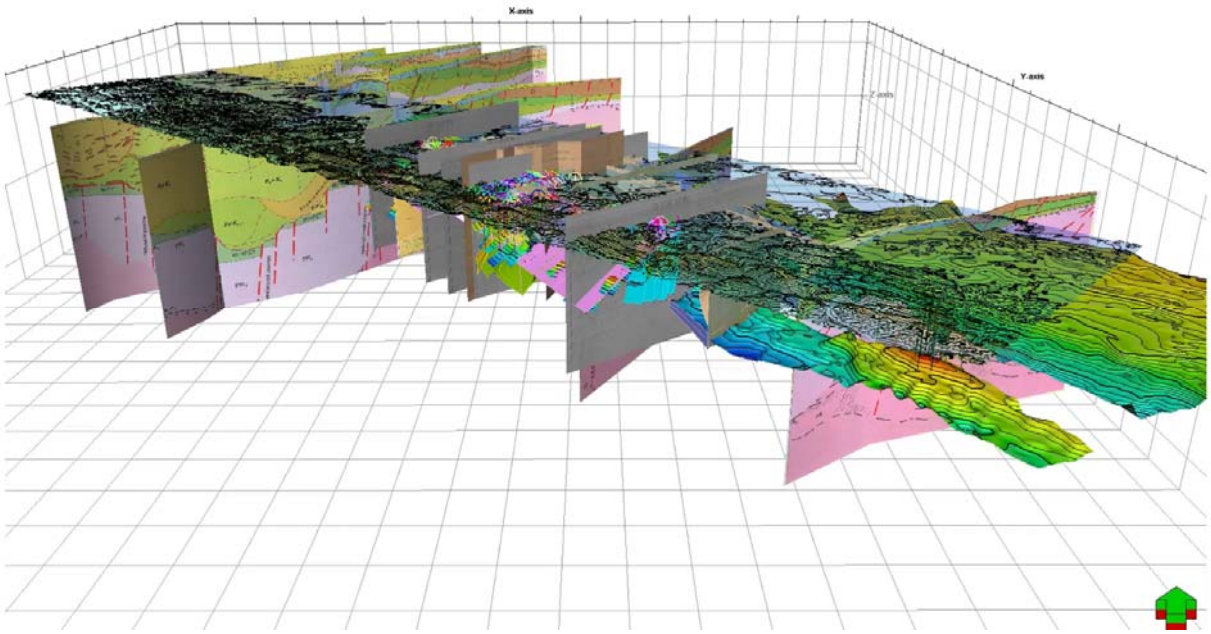


Рис. 2. 3D-модель з нанесеними геологічними розрізами і топографічною поверхнею

Наступним етапом розвитку проєкту є впровадження технології Petroleum System Modeling (PSM), яка фактично додає до тривимірної геологічної моделі четвертий вимір - час. Це дасть змогу реконструювати геологічну історію басейну та відтворити процеси генерації, міграції, акумуляції і збереження вуглеводнів, що відбувалися протягом мільйонів років.

Подальша реалізація проєкту передбачає три ключові етапи:

• моделювання нафтогазової системи;

• реконструкцію процесів генерації та міграції вуглеводнів на основі структурної палеореконструкції;

• формування остаточного прогнозу нафтогазоносності.

Реалізація цих етапів дозволить перейти від простого картування перспективних структур до кількісної оцінки ймовірності нафтогазоносності, включаючи прогноз наявності, типу та обсягів вуглеводнів у перспективних об'єктах. Це не лише істотно знизить ризики буріння непродуктивних («сухих») свердловин, вартість яких може сягати мільйонів доларів, а й сприятиме більш ефективному розподілу інвестиційних ресурсів шляхом концентрації геологорозвідувальних робіт на об'єктах із найвищою ймовірністю відкриття промислових покладів вуглеводнів.

Список використаних джерел:

1. M. Roger, A. Leeuw, P. Beek, L. Husson, E. R. Sobel, J.Glodny, and M. Bernet Construction of the Ukrainian Carpathian wedge from low-temperature thermochronology and tectono-stratigraphic analysis

2. А.С. Андрєєва-Григорович, В. О. Ващенко, О. М. Гнилко, Н. А. Трофимович. Стратиграфія неогенових відкладів Українських Карпат та Передкарпаття УДК 551.782.(477.8)

3. Karpenko I., Karpenko A., Rudnik B. Petroleum systems and yet-to-find discoveries of Carpathian foredeep and Western margin of East-European Platform. Deep dive through regional multi-basin 3D PS modelling

4. Р. Малик Басейнове моделювання як інструмент досліджень Внутрішньої зони Передкарпатського прогину

5. Оцінка перспектив нафтогазоносності палеогенових відкладів Внутрішньої зони Передкарпатського прогину на основі аналізу палеотектонічних та палеогеографічних умов осадконакопичення» , 2003 р., ЦНДЛ ВАТ «Укрнафта»

6. І.Я.Федів, І.Т.Штурмак, Б.Й.Маєвський Основні структурно-тектонічні особливості геологічної будови Внутрішньої зони Передкарпатського прогину
7. В. Є. Шлапінський Покутський глибинний розлом і його вплив на тектоніку і нафтогазоносність південно-східного сегменту Карпат
8. В.В. Глушко Геологічна карта Передкарпаття (міжріччя Прут-Серет) Масштаб 1:100000 1986р
9. В.Р. Хомин Геологічна будова і перспективи нафтогазоносності центральної та північно-західної частин Бориславсько-Покутської зони Передкарпатського прогину на глибинах 5-8 км.
10. Передкарпатська нафтогазоносна область / Я. Г. Лазарук // Енциклопедія Сучасної України [Електронний ресурс] / редкол. І. М. Дзюба, А. І. Жуковський, М.Г. Железняк [та ін.] ; НАН України, НТШ. — Київ : Інститут енциклопедичних досліджень НАН України, 2023.

УДК 622.24.051.5:628.54

ОБҐРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ВІБРОСИТ ДЛЯ ВІБРАЦІЙНОГО СЕПАРУВАННЯ БУРОВИХ ПРОМИВАЛЬНИХ РІДИН

Войта М.О., *ORCID ID 0009-0001-4801-0406, voita.my.o@nmu.one;*
Пащенко О.А., *ORCID ID 0000-0003-3296-996X, pashchenko.o.a@nmu.one;*
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

Розроблено напіваналітичну модель вібраційного сепарування бурових промивальних рідин: фільтрація неньютонівської рідини за Дарсі–Форхгеймером і Гершелем–Балклі, лагранжів рух частинок з адгезійно-капілярними силами та кінетика деградації пропускної здатності сітки. За 62 валідними дослідами перехід від лінійної до криволінійної траєкторії підвищує початкову пропускну здатність Q_0 на 8–14 л/(хв·м²). Робочий режим – K = 7,0 g, φ = 45–90°. На сітці API 200 для чотирьох типів розчинів отримано Q_0 = 109–167 л/(хв·м²), у масштабі площі стенда 1810–2770 л/(хв·м²), d_{50} = 59–78 мкм і вміст твердої фази 3,3–6,1% об. при вході 10% об. Промислові випробування дали приріст питомої пропускної здатності 10%, зниження d_{50} на 9%, скорочення простоїв на 59% і замін сіток на 20%.

Ключові слова: надрокористування, бурові промивальні рідини, вібросито, вібраційне сепарування, математична модель, раціональні параметри.

JUSTIFICATION OF RATIONAL PARAMETERS OF SHALE SHAKERS FOR VIBRATIONAL SEPARATION OF DRILLING FLUIDS

Voita M., *ORCID ID 0009-0001-4801-0406, voita.my.o@nmu.one;*
Pashchenko O., *ORCID ID 0000-0003-3296-996X, pashchenko.o.a@nmu.one;*
Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

A semi-analytical model of vibrational separation of drilling fluids is developed: non-Newtonian filtration by Darcy–Forchheimer and Herschel–Bulkley, Lagrangian particle motion with adhesion–capillary forces, and screen-throughput degradation kinetics. In 62 valid runs, a change from a linear to a curvilinear trajectory increases the initial throughput Q_0 by 8–14 L/(min·m²). The working mode is K = 7.0 g, φ = 45–90°. On an API 200 screen, four fluid types gave Q_0 = 109–167 L/(min·m²), 1810–2770 L/(min·m²) on the bench area scale, d_{50} = 59–78 μm and an outlet solids content of 3.3–6.1% vol. at 10% vol. inlet. Field trials showed a 10% gain in specific throughput, a 9% decrease in d_{50}, a 59% cut in downtime and a 20% cut in screen changes.

Keywords: subsoil use, state expert appraisal, geological and economic assessment.

Вступ. Сучасне буріння нафтогазових свердловин висуває жорсткіші вимоги до стабільності промивальної рідини: від винесення вибуреної породи й охолодження долота до збереження колектора і гідравлічного керування свердловиною. Ці функції залежать від утримання вмісту твердої фази після первинного очищення на рівні близько 4–5% об. Перший ступінь – вібросито – приймає 100% циркулюючого потоку (типово 2500–4500 л/хв) і відділяє основну частку шламу крупніше 100–150 мкм [1, 2].

Ключовим етапом у системі очищення є перший ступінь – вібросито. Воно приймає 100% циркулюючого потоку (типово 2500–4500 л/хв) і відповідає за відділення основної частки шламу крупністю понад 100–150 мкм [1, 2]. Проте обмежувальним явищем залишається швидка деградація пропускної здатності вібросит: вже за 30–90 хв відкрита площа осередків може зменшитися на 50–80% через залипання (blinding) і заклинювання (pegging). Наслідком цього стає байпасування потоку або вимушений перехід на грубіші сітки, що призводить до накопичення твердої фази в розчині до 8–12% об. Заводські режими сучасних вібросит (Derrick Hyperpool, Mongoose PRO, King Cobra Venom) потребують узгодження з реологічними та адгезійними властивостями конкретного розчину [3–5].

Існуючі моделі вібраційного грохочення – від кінетичних до CFD–DEM – мають суттєві обмеження: вони описують переважно сухий грохот або вимагають надто важких чисельних розрахунків, що ускладнює їх використання для оперативного інженерного добору оптимального режиму роботи обладнання [6].

Основний матеріал. Метою роботи є обґрунтування раціональних параметрів вібросит (частоти, амплітуди, траєкторії, сітки) для основних типів бурових розчинів на основі напіваналітичної моделі, а також стендових і промислових даних.

Для кількісного опису процесу розроблено комплексну напіваналітичну модель, яка поєднує гідродинамічний опис фільтрації рідинної фази через осередки сітки з лагранжевим траєкторним аналізом руху твердих частинок. Модель прогнозує пропускну здатність $Q(t)$, граничний розмір сепарації d_{50}, ефективність $E(d_p)$ та кінетику деградації осередків.

Фільтрацію рідинної фази крізь сітку описано законом Дарсі–Форхгеймера, доповненим вібраційним членом:

$$\vec{v}_f = -\frac{k}{\mu_{eff}}\nabla P - \beta_F \rho \left|\vec{v}_f\right| \vec{v}_f + \rho A\omega^2 \sin(\omega t), \tag{1}$$

Де k – проникність сітки за Козені–Карманом; μ_{eff} – ефективна в'язкість; β_F – інерційний коефіцієнт Форхгеймера; A – амплітуда (половина розмаху); ω – кутова частота; ρ – густина розчину.

Реологію бурового розчину описано моделлю Гершеля–Балклі:

$$\tau = \tau_0 K_{HB} \dot{\gamma}^n, \tag{2}$$

де τ_0 – граничне напруження зсуву; K_{HB} – консистенція; n – індекс течії; $\dot{\gamma}$ – швидкість зсуву. Ефективну в'язкість визначають як $\mu_{eff} = \tau/\dot{\gamma}$, що дозволяє врахувати зміну реології в тонкому шарі над сіткою.

Рух окремої частинки діаметром d_p розглянуто через другий закон Ньютона:

$$m_p \frac{d\vec{v}_p}{dt} = \vec{F}_{drag} + \vec{F}_{press} + \vec{F}_{grav,eff} + \vec{F}_{adh} + \vec{F}_{cap}, \tag{3}$$

де $\vec{F}_{drag}$ – сила гідродинамічного опору; $\vec{F}_{press}$ – сила тиску; $\vec{F}_{grav,eff}$ – ефективна гравітація з поправкою на вібраційне прискорення; $\vec{F}_{adh}$ – адгезійна сила за моделлю Джонсона–Кендалла–Робертса (JKR); $\vec{F}_{cap}$ – капілярна сила рідкого містка.

Капілярна складова визначається за формулою:

$$F_{cap} = \frac{4\pi r_p \sigma \cos\theta}{1 + h_a / r_p}, \tag{4}$$

де $r_p = d_p / 2$ – радіус частинки; σ – поверхневий натяг; θ – кут змочування; h_a – зазор між частинкою та дротом сітки.

Деградацію пропускної здатності сітки в часі описано експоненційною залежністю:

$$Q(t) = Q_0 \exp\left(-a m_{dep}^{\beta}\right), \beta \in [0{,}85; 1{,}15], \tag{5}$$

де m_{dep} – поверхнева маса відкладень, кг/м²; α – коефіцієнт деградації, м²/кг (за результатами дослідів становить 0,76–2,48 м²/кг); β – показник нелінійності. Цей коефіцієнт враховує вплив поверхневого натягу, кута змочування, граничного напруження зсуву та розміру осередку, що дозволяє переносити його між розчинами різного типу. Кут нахилу сітки позначено α_c.

Амплітуду при заданій частоті визначають з умови збереження вібраційного числа на робочому рівні:

$$A = \frac{Kg}{(2\pi f)^2}, \tag{6}$$

що дає A=2,22 мм при 28 Гц, A=1,93 мм мм при 30 Гц і A=1,70 мм при 32 Гц.

Послідовність розрахунку наведено на рисунку 1.



Рис. 1. Блок-схема алгоритму напіваналітичної моделі

Вхід: тип розчину (реологічні параметри, поверхневий натяг, кут змочування), параметри сітки (розмір осередку, початкова пористість), режим вібрації (частота, амплітуда, кут еліпса, кут нахилу).

Далі визначають ефективну в'язкість за моделлю Гершеля–Балклі, швидкість фільтрації за законом Дарсі–Форхгеймера, сили, що діють на частинку, та поверхневу масу відкладень. Завершується розрахунок визначенням граничного розміру сепарації, ефективності відділення фракцій, пропускної здатності в часі та часу стабільної роботи сітки.

Стенд забезпечує лінійну, еліптичну та кругову траєкторії вібрації, амплітуду 0–6 мм, частоту 0–50 Гц і кут нахилу сітки від −15° до +15°. До статистичної обробки увійшли 62 досліди за 20 режимами (для КПР – 39 дослідів, для НДП і ПГР – по 9, для ІЕР – 5). Параметри досліджуваних розчинів наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Фізико-хімічні параметри досліджуваних розчинів

Параметр	НДП	ПГР	КПР	ІЕР
Основа	вода	вода	вода + KCl	дизпаливо + вода
Густина, кг/м³	1020–1050	1080–1120	1100–1150	1200–1400
Пластична в'язкість, мПа·с	18–25	25–35	20–30	30–50
Граничне напруження зсуву (10 хв), Па	5–8	10–18	8–14	12–25
Поверхневий натяг, мН/м	45–55	55–65	40–50	25–35

При фіксованому режимі (частота 30 Гц, амплітуда 1,90 мм, кут еліпса 45°, вібраційне число 7,0 g, калійно-полімерний розчин) зменшення розміру осередку сітки з 74 до 53 мкм знижує граничний розмір сепарації з 68 до 52 мкм і час стабільної роботи з 16,6 до 13,6 хв (таблиця 2). За регресійною залежністю, побудованою на всьому масиві дослідів, перехід із 53 на 74 мкм підвищує початкову пропускну здатність на 17,3 ± 8,0 л/(хв·м²) ($p = 0{,}036$) і збільшує граничний розмір сепарації на 17,5 ± 1,8 мкм ($p < 0{,}001$).

Таблиця 2

Вплив розміру осередку сітки (КПР, K = 7,0 g, φ = 45°)

API mesh	Розмір осередку, мкм	Q_0, л/(хв·м²)	d_{50}, мкм	t_{50}, хв	α, м²/кг
200	74	137	68	16,6	1,18
270	53	135	52	13,6	1,58

Для калійно-полімерного розчину еліптична траєкторія знижує вміст твердої фази в очищеному розчині до 4,5% об. проти 5,1% об. на лінійній траєкторії; кругова траєкторія дає 4,9% об. (таблиця 3). За пропускною здатністю криволінійна траєкторія перевершує лінійну: еліптична додає 13,6 л/(хв·м²), кругова – 8,3 л/(хв·м²). Тому робочим класом прийнято кут еліпса в діапазоні 45–90°. На досліджених рівнях вібраційного числа 5,5; 7,0 і 8,5 g кожен додатковий g знижує вміст твердої фази на 0,23 ± 0,07% об. ($p = 0{,}003$) і граничний розмір сепарації на 1,5 ± 0,5 мкм ($p = 0{,}003$). Робочою точкою прийнято 7,0 g. Амплітуду при заданій частоті визначають з умови

збереження вібраційного числа на рівні 7,0 g, що дає 2,22 мм при 28 Гц, 1,93 мм при 30 Гц і 1,70 мм при 32 Гц.

Таблиця 3

Вміст твердої фази,% об., для калійно-полімерного розчину (K = 7,0 g; вміст на вході 10% об.)

Тип розчину	Лінійна, φ = 0°	Еліптична, φ = 45°	Кругова, φ = 90°
Калійно-полімерний	5,1	4,5	4,9

Таблиця 4

Робочі параметри вібраційного сепарування (сітка API 200)

Параметр	НДП	КПР	ПГР	ІЕР
Частота, Гц	32	30	30	28
Амплітуда, мм	1,70	1,93	1,93	2,22
Вібраційне число, g	7,0	7,0	7,0	7,0
Кут еліпса, град	45	45	45–90	45–90
Q_0 стенда, л/(хв·м²)	167	137	115	109
$Q_0 \cdot k_m$, k_m = 16,6	2770	2270	1910	1810
t_{50}, хв	21,7	16,6	17,3	11,3
d_{50}, мкм	59	68	75	78
Вміст твердого,% об.	3,3	4,6	4,6	6,1

Тут k_m = 16,6 – коефіцієнт площі стенда (0,045 м²), який використовується лише для приведення лабораторних даних до промислового масштабу, а не є виміряною промисловою величиною. Найвищі показники забезпечує полімерний недисперсний розчин: початкова пропускна здатність 167 л/(хв·м²), граничний розмір сепарації 59 мкм, вміст твердої фази 3,3% об. Для інвертно-емульсійного розчину ці показники становлять відповідно 109 л/(хв·м²), 78 мкм і 6,1% об. Різниця між крайніми типами розчинів – близько 53% за пропускною здатністю і майже вдвічі за вмістом твердої фази в очищеному розчині.

На навчальному вузлі (12 дослідів, сітка API 200) перехід від базового режиму (частота 28 Гц, амплітуда 2,5 мм, лінійна траєкторія, вібраційне число 6,2 g) до запропонованого (частота 32 Гц, амплітуда 1,9 мм, кут еліпса 45°, вібраційне число 7,0 g) підвищив питому пропускну здатність зі 136,6 до 150,2 л/(хв·м²), тобто на 10%, і знизив граничний розмір сепарації з 72,3 до 65,8 мкм, тобто на 9%. На вузлі з промивальною рідиною класу НДП (12 змін) вміст твердої фази знизився з 3,76 до 1,45% об. (–61%), простій – з 37 до 15 хв за зміну (–59%), кількість замін сітки – з 1,67 до 1,33 за зміну (–20%).

База розрахунку – свердловина глибиною 3000 м, 30 діб буріння, дві зміни на добу, три вібросита на установці. Скорочення простою на 22 хв за зміну дає близько 22 год на свердловину; при вартості 16–24 тис. грн за годину роботи установки це становить 0,35–0,52 млн грн. Зменшення кількості замін сіток на 20% дає 0,11–0,15 млн грн. Разом економія становить 0,46–0,67 млн грн на свердловину. Разові витрати на віброзбуджувачі, частотний перетворювач, пружини, датчики й автоматику – близько 1,39 млн грн на установку. Окупність – друга–третя свердловина.

Висновок. На основі виконаних теоретичних та експериментальних досліджень сформульовано такі висновки.

1. Розроблена напіваналітична модель (1–5) описує фільтрацію неньютонівської рідини, рух частинки з адгезійно-капілярними силами і деградацію пропускної здатності сітки та відтворює напрями впливу досліджених факторів.

2. Домінуючими факторами є тип розчину і розмір осередку. Перехід із 53 на 74 мкм підвищує початкову пропускну здатність на 17,3 ± 8,0 л/(хв·м²) і граничний розмір сепарації на 17,5 ± 1,8 мкм.

3. Криволінійна траєкторія (φ = 45–90°) підвищує початкову пропускну здатність на 8–14 л/(хв·м²) відносно лінійної. Робочою точкою прийнято вібраційне число K = 7,0 g в інтервалі 5,5–8,5 g; амплітуду визначають за формулою (6).

4. Для сітки API 200 робочі режими дають Q_0 = 109–167 л/(хв·м²) (1810–2770 л/(хв·м²) у масштабі площі), d_{50} = 59–78 мкм і C_{out} = 3,3–6,1% об. при C_{in} = 10% об.

5. Промислові випробування підтвердили приріст питомої пропускної здатності на 10% і зниження d_{50} на 9%, а також скорочення простоїв на 59% і замін сітки на 20%. Економічний ефект становить 0,46–0,67 млн грн на свердловину при разових витратах 1,39 млн грн; окупність – друга–третя свердловина.

Таким чином, запропоновані режими вібраційного сепарування забезпечують підвищення ефективності очищення бурових промивальних рідин, зниження вмісту твердої фази та скорочення непродуктивних витрат часу, що дозволяє рекомендувати їх для впровадження на вітчизняних бурових установках.

Список використаних джерел:

1. Шумов, А. С., Судаков, А. К., & Передерій, Н. О. (2024). Інноваційна технологія обладнання гідрогеологічних свердловин блочними гравійними фільтрами. В *«Молодь: наука та інновації» 2024: матеріали XII Міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених* (Том 1, с. 76). НТУ «ДП».

2. Pashchenko, O., Rastsvietaiev, V., Davydenko, O., Shumov, A., & Voita, M. (2025). Computer modeling and analysis of filtration flows in heterogeneous porous media. *Geotechnical Mechanics*, 172, 65-75. https://doi.org/10.15407/geotm2025.172.065

3. Sudakov A., Shumov A., Voita M., Hanzha Y., Dmytruk O. (2026). Modeling and Analysis of Hydrodynamics in Filtration Systems. *Advances in Science and Technology*. Vol. 172. Pp. 215–225. https://doi.org/10.4028/p-RzP6VN

4. Voita, M. (2026). Математичне моделювання роботи вібросита для очищення промивальної рідини при бурінні нафтових і газових свердловин. *Zbirnyk naukovykh prats Natsionalnoho hirnychoho universytetu*, 85, 30–44. https://doi.org/10.33271/crpnmu/85.030

5. Derrick Corporation. (2023). *Hyperpool Shale Shaker: Technical Manual*. https://www.tr-shale-shaker.com/__trashed/

6. M-I SWACO. (2024). *Mongoose PRO Shale Shaker: Operation Manual*. Schlumberger. https://media.theofmp.com/media/miswaco/documents/m-iswaco_mongooseproshakermanual_july2018_v1.pdf

7. NOV Brandt. (2024). *King Cobra Venom Shale Shaker: Technical Specifications*. National Oilwell Varco. https://www.nov.com/products/king-cobra-venom-shale-shaker

8. Zhao, L., Zhao, Y., Bao, C., Hou, Q., & Yu, A. (2017). Optimisation of a circularly vibrating screen based on DEM simulation and Taguchi orthogonal experimental design. *Powder Technology*, 310, 307–317. https://doi.org/10.1016/j.powtec.2017.01.049

9. Lal M., Hoberock L. L. (1988). Solids-conveyance dynamics and shaker performance. *SPE Drilling Engineering*, 3(4), 385–394. https://doi.org/10.2118/14389-PA

10. American Petroleum Institute. (2020). Recommended practice on drilling fluid processing systems evaluation (API RP 13C) (5th ed.). https://www.api.org/~/media/files/publications/whats%20new/13c_e5%20pa.pdf

References

Shumov, A. S., Sudakov, A. K., & Perederii, N. O. (2024). Innovatsiina tekhnolohiia obladnannia hidroheolohichnykh sverdlovyn blochnymy hraviinymy filtramy [Innovative technology of equipment for hydrogeological wells with block gravel filters]. In *«Molod: nauka ta innovatsii» 2024: materialy XII Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii studentiv, aspirantiv ta molodykh vchenykh* (Vol. 1, p. 76). NTU «DP». [in Ukrainian].

Pashchenko, O., Rastsvietaiev, V., Davydenko, O., Shumov, A., & Voita, M. (2025). Computer modeling and analysis of filtration flows in heterogeneous porous media. *Geotechnical Mechanics*, 172, 65-75. https://doi.org/10.15407/geotm2025.172.065

Sudakov A., Shumov A., Voita M., Hanzha Y., Dmytruk O. (2026). Modeling and Analysis of Hydrodynamics in Filtration Systems. *Advances in Science and Technology*. Vol. 172. Pp. 215–225. https://doi.org/10.4028/p-RzP6VN

Voita, M. O. (2026). Matematychne modeliuvannia roboty vibrosyta dlia ochyshchennia promyvalnoi ridyny pry burinni naftovykh i hazovykh sverdlovyn [Mathematical modeling of shale shaker operation for drilling fluid cleaning during oil and gas well drilling]. *Zbirnyk naukovykh prats Natsionalnoho hirnychoho universytetu*, 85, 30–44. https://doi.org/10.33271/crpnmu/85.030 [in Ukrainian].

5. Derrick Corporation. (2023). *Hyperpool Shale Shaker: Technical Manual*. https://www.tr-shale-shaker.com/__trashed/

6. M-I SWACO. (2024). *Mongoose PRO Shale Shaker: Operation Manual*. Schlumberger. https://media.theofmp.com/media/miswaco/documents/m-iswaco_mongooseproshakermanual_july2018_v1.pdf

7. NOV Brandt. (2024). *King Cobra Venom Shale Shaker: Technical Specifications*. National Oilwell Varco. https://www.nov.com/products/king-cobra-venom-shale-shaker

8. Zhao, L., Zhao, Y., Bao, C., Hou, Q., & Yu, A. (2017). Optimisation of a circularly vibrating screen based on DEM simulation and Taguchi orthogonal experimental design. *Powder Technology*, 310, 307–317. https://doi.org/10.1016/j.powtec.2017.01.049

9. Lal M., Hoberock L. L. (1988). Solids-conveyance dynamics and shaker performance. *SPE Drilling Engineering*, 3(4), 385–394. https://doi.org/10.2118/14389-PA

10. American Petroleum Institute. (2020). Recommended practice on drilling fluid processing systems evaluation (API RP 13C) (5th ed.). https://www.api.org/~/media/files/publications/whats%20new/13c_e5%20pa.pdf

УДК 550.834.05

ПЕРСПЕКТИВИ ГАЗОНОСНОСТІ ВІДКЛАДІВ ШЕГИНІ-ВОЛИЦЬКОЇ ПЛОЩІ НА ОСНОВІ ПРОВЕДЕНОГО КОМПЛЕКСУ ГЕОФІЗИЧНИХ І ГЕОХІМІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дучук С.В. *[1], ORCID ID 0009-0004-6384-7054, duchuk@ukr.net;*
Максимук С.В.[2]*, ORCID ID 0009-0004-6301-9988, danaarsen@ukr.net;*
Галамай А.Р.[2]*, к. геол. н., с. н. с., ORCID ID 0000-0003-4864-6401, galamaytolik@ukr.net;*
1 – Західно-Українська геофізична розвідувальна експедиція, Львів, Україна;
2 – Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, Львів, Україна

Проведено комплекс геофізичних і геохімічних досліджень в межах Крукеницької западини Більче-Волицької зони на Шегині-Волицькій площі. Виконано структурні побудови по відбивальних сейсмічних горизонтах у відкладах нижньодашавської підсвіти сарматського ярусу (горизонти НД-1, НД-3, НД-15) та горизонту відбиття ГА (тираська світа бадену). Деталізовано будову Шегинської і Волицької структур та виявлено Буцівську структуру. Отримано геоелектричні розрізи й карти поздовжніх опорів горизонтів сарматського ярусу. Складено узагальнені карти вмісту вуглеводневих сполук в четвертинних відкладах з виділенням аномалій. На підготовлені об'єкти рекомендовано пошукове буріння з метою виявлення газоносних відкладів; подані напрямки подальших геолого-геофізичних досліджень.

Ключові слова: геофізика, сейсморозвідка, електророзвідка, геохімія, газоносність

GAS POTENTIAL PROSPECTS OF THE SHEHYNI-VOLYTSIA AREA DEPOSITS BASED ON AN INTEGRATED SUITE OF GEOPHYSICAL AND GEOCHEMICAL INVESTIGATIONS

Duchuk S.V.[1]*, ORCID ID 0009-0004-6384-7054, duchuk@ukr.net;*
Maksymuk S.V.[2]*, ORCID ID 0009-0004-6301-9988 , danaarsen@ukr.net;*
Galamay A.R.[2]*, PhD (Geol.), Associate Professor, ORCID ID 0000-0003-4864-6401, galamaytolik@ukr.net;*
1 – Western-Ukrainian geophysical reconnaissance expedition, Lviv, Ukraine;
2 – Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals of NASU, Lviv, Ukraine

An integrated suite of geophysical and geochemical investigations was conducted within the Krukenychi depression of the Bilche-Volytsia zone in the Shehyni-Volytsia area. Structural mapping was performed for reflecting seismic horizons within the deposits of the Lower Dashava subsuite of the Sarmatian stage (horizons ND-1, ND-3, ND-15) and the reflecting GA horizon (Tyras suite of the Badenian). The structure of the Shehyni and Volytsia features was detailed, and the Butsivska structure was identified. Geoelectric cross-sections and longitudinal resistivity maps for the Sarmatian stage horizons were obtained. Generalized maps of hydrocarbon compound content in Quaternary deposits were compiled, identifying anomalous zones. Exploratory drilling is recommended on the prepared prospects to discover gas-bearing deposits, and directions for further geological and geophysical research are proposed.

Keywords: geophysics, seismic surveying, electrical prospecting, geochemistry, gas potential

Шегині-Волицька площа розташована в Крукеницькій підзоні Більче-Волицької зони Передкарпатського прогину, а саме на регіональному підйомі від Краковецького розлому донеогенового фундаменту. Для уточнення геологічної будови піднять, виділених на площі попередніми роботами, і перспективи їхнього флюїдонасичення був проведений комплекс геофізичних і геохімічних досліджень.

Методи досліджень. Сейсморозвідувальні дослідження проведено методом спільної глибинної точки (МСГТ) по сітці профілів методикою 24-кратного поздовжнього профілювання за фланговою системою спостереження з використанням в якості збудження пружних коливань невибухових джерел з кроком спостереження 15 м. Всього відроблено 65,51 км профілів. Всі профілі оброблено комплексом ProMAX під управлінням операційної системи SOLARIS.

Електророзвідувальні дослідження проведено методом зондування становленням електромагнітного поля в ближній зоні (ЗСБЗ). Всього відпрацьовано 82,2 пог. км. Обробка отриманих матеріалів методом ЗСБЗ проводилась пакетом програм ZSB.

Геохімічне зондування проведено на 10 профілях загальною довжиною 102 км з віддаллю між ними 1,0–1,5 км і кроком спостереження 250 м. Всього відібрано 1224 проби. Об'єктом вивчення була газова складова четвертинних відкладів. Методом газової хроматографії визначався якісний і кількісний вміст вуглеводневих компонентів (від метану до пентану включно). Результати геохімічних досліджень оброблено комплексом програм Excel, Statistica, Surfer.

Результати досліджень. За результатами виконаних сейсмо- і електророзвідувальних та геохімічних досліджень, використанням даних глибокого буріння побудовані структурно-тектонічні карти в масштабі 1: 50000 по опорному гіпсоангідритовому горизонту (ГА) тираської світи, по відбивальних горизонтах НД-1, НД-3 і НД-15 (нижньодашавська підсвіта сарматського ярусу); карти поздовжніх опорів по горизонтах НД-1, 3, 15; карти розподілу вуглеводневих сполук в газах, сорбованих породою на глибині 1 м, вільного простору порід, дебіту метану; сейсмогеологогеохімічні, сейсмогеологічні, сейсмічні та геоелектричні розрізи в масштабі 1:10000.

Структурна карта по відбивальному сейсмічному горизонту ГА відображає тектоніку нижньої частини осадової товщі порід Крукеницької підзони (рис. 1). Площа двома поздовжніми порушеннями різної амплітуди розділена на три блоки. Основними додатніми формами є структурні носи.

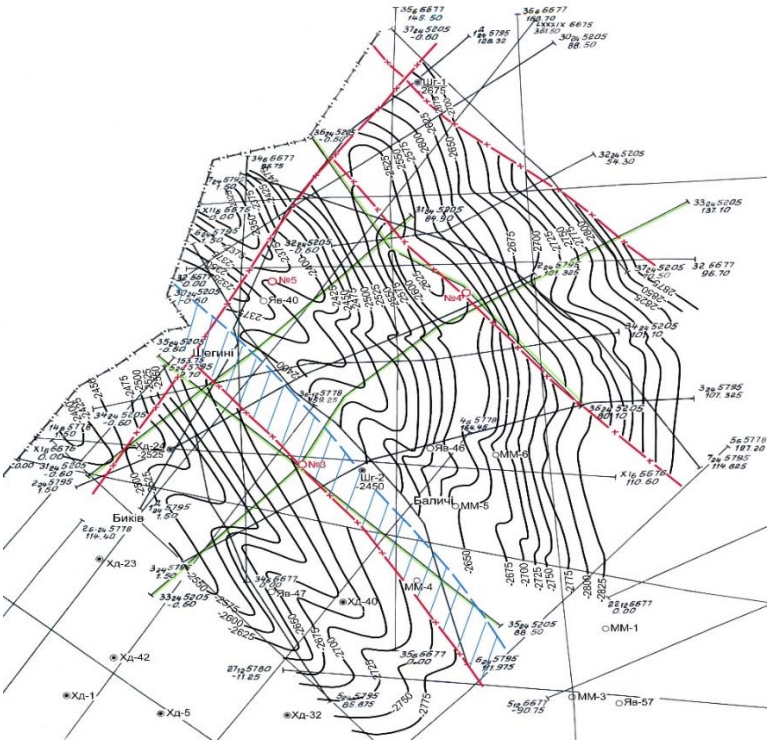


Рис. 1. Структурна карта по відбивальному сейсмічному горизонту ГА (тираська світа баденського ярусу)

В розрізі сарматського ярусу спостерігається неконформність структурних планів на різних стратиграфічних рівнях (рис. 2, 3).

Шегинська структура – це напівантиклінальна складка, яка на українській території представлена тільки південно-східною перикліналлю, склепіння її оконтурене ізогіпсою мінус 2200 м. Площа об'єкту становить 4,8 км^2, амплітуда – 60 м.

Волицька структура має вигляд брахіантиклінальної складки, склепінна частина якої оконтурена ізогіпсою мінус 2300 м. Площа об'єкту становить 1,8 км^2, амплітуда – 60 м.

В межах Шегинського і Волицького розломів закартовано Буцівську структуру, яка вирисовується як антиклінальна складка, в північно-західній частині ускладнена поперечним малоамплітудним порушенням, склепінна частина якої оконтурена ізогіпсою мінус 2200 м. Площа структури становить 5,4 км^2, амплітуда – 40 м.

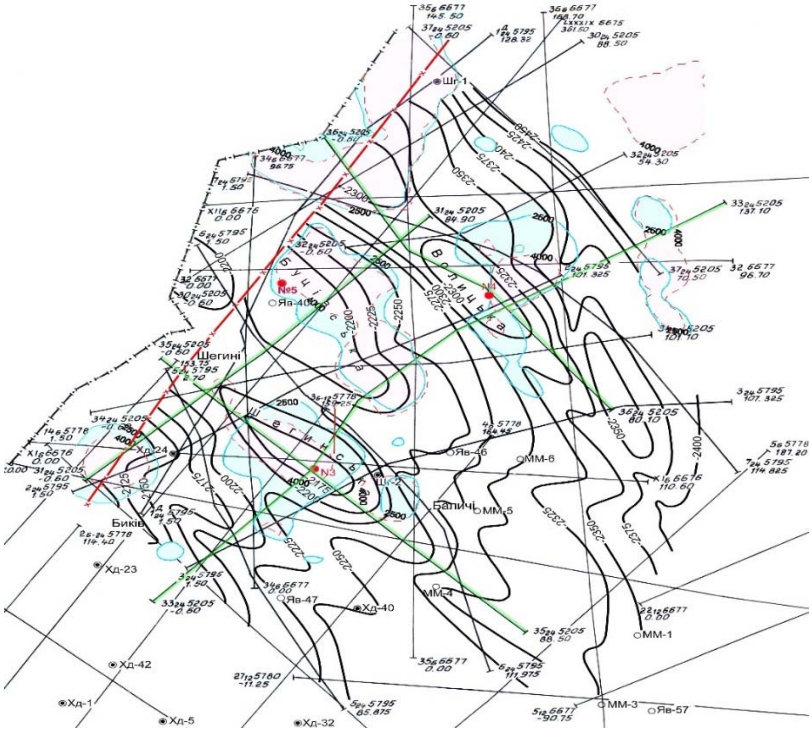


Рис. 2. Структурна карта по відбивальному сейсмічному горизонту НД-15 (нижньодашавська підсвіта сарматського ярусу) з даними геохімії

В результаті проведення електророзвідувальних досліджень методом ЗСБЗ і застосування кількісного підходу до інтерпретації польових матеріалів, були виділені літологічні границі та аномальні зони поздовжнього опору (див. рис. 3).

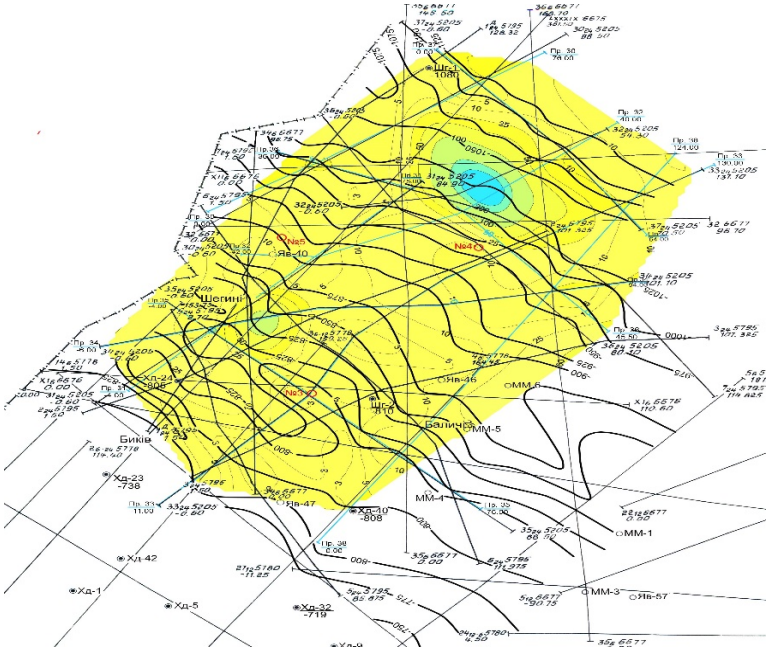


Рис. 3. Структурна карта по відбивальному сейсмічному горизонту НД-3 (нижньодашавська підсвіта сарматського ярусу) з даними електророзвідки

В результаті геофізичних досліджень, виконаних на Шегині-Волицькій площі, уточнено структурний план неогенових відкладів на стратиграфічних рівнях: ГА, НД-15, НД-3, НД-1. Підтверджено неузгодженість структурних планів верхньої частини сарматського розрізу (НД-1, 3) з нижньою (НД-15) як результат спотворення початкової

структури насувними процесами. На структурній карті по НД-1 виявлено три антиклінальні складки, які потребують довивчення. На структурній карті по НД-15 виділено підготовлені до буріння Шегинська і Волицька структури. Крім того, виявлено Буцівську складку.

На основі отриманих результатів сейсморозвідки, електророзвідки та геохімії з врахуванням переінтерпретації геофізичних матеріалів минулих років та даних глибокого буріння виконана їхня комплексна інтерпретація зі складанням відповідних карт.

Висновки і рекомендації.

Застосування більш досконалих прийомів польових спостережень і графу обробки отриманої сейсморозвідувальної інформації, залучення до геологічної інтерпретації переоброблених профілів минулих років, повне врахування результатів глибокого буріння, електророзвідки та статистичної обробки геохімічних досліджень дозволило отримати об’єктивну інформацію про геологічну будову досліджуваної площі.

Подано рекомендацію на буріння трьох свердловин: на Шегинській структурі – свердловину №3, на Волицькій – №4, на Буцівській – №5.

УДК 551.3:553.9

ГЕОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА СТАРУНСЬКОГО ГЕОДИНАМІЧНОГО ПОЛІГОНУ

Калиній Т.В., *асистент, ORCID ID 0009-0001-0902-2981, tetiana.kalynii@nung.edu.ua,*
Омельченко В.Г., *к. геол. н., доцент, ORCID ID 0000-0002-2939-4088, ovgeo@nung.edu.ua,*
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ, Україна

Узагальнено природні умови та особливості дочетвертинної геологічної будови Старунського геодинамічного полігону в межах Богородчанського району. Охарактеризовано його положення щодо структурно-фаціальних зон Передкарпатського прогину, літостратиграфічну будову палеогенових і неогенових відкладів, насувну структуру Бориславсько-Покутської зони та роль тріщинуватості у міграції вуглеводнів. Показано просторовий зв'язок між нафтовими й газовими родовищами, соленосними відкладами та Старунським родовищем озокериту. Узагальнено дані про будову Старунської складки, історію розробки озокериту та сучасні природні прояви вуглеводнів. Обґрунтовано значення дочетвертинної основи для розуміння природно-ресурсного потенціалу, геодинамічних процесів і природоохоронної цінності території.

Ключові слова: Старунський геодинамічний полігон, Передкарпатський прогин, дочетвертинна геологічна будова, озокерит, вуглеводні, соленосна формація.

GEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE STARUNIA GEODYNAMIC POLYGON

Kalynii T., *Asist. Prof., ORCID ID 0009-0001-0902-2981, tetiana.kalynii@nung.edu.ua,*
Omelchenko V., *Cand. Sci. (Geol.), Assoc. Prof., ORCID ID 0000-0002-2939-4088, ovgeo@nung.edu.ua,*
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, Ukraine

The natural conditions and pre-Quaternary geological structure of the Starunia geodynamic polygon in the Bohorodchany district are generalized. The structural position of the polygon within the Forecarpathian Depression, its Paleogene and Neogene lithostratigraphic complexes, the thrust structure of the Boryslav-Pokuttya zone, and the role of fracturing in hydrocarbon migration are characterized. The spatial relationship between oil and gas occurrences, salt-bearing Miocene deposits and the Starunia ozokerite deposit is outlined. The geological structure of the Starunia fold, the history of ozokerite mining and surface hydrocarbon manifestations are summarized. The importance of the pre-Quaternary basement for understanding the resource potential and geological uniqueness of the territory is substantiated.

Keywords: Starunia geodynamic polygon, Forecarpathian Depression, pre-Quaternary geological structure, ozokerite, hydrocarbons, salt-bearing formation.

Вступ. Старунський геодинамічний полігон розташований у передгірській частині Українських Карпат на території Богородчанського району Івано-Франківської області. Територія поєднує природні та техногенно змінені геосистеми з незайманими ландшафтами гірської частини Карпат. У межах приблизно 60 га геологічної пам'ятки зосереджені грязьовий вулкан, виходи нафти й газу на денну поверхню, озокеритові копальні та унікальні палеонтологічні об'єкти пізнього плейстоцену. Природні прояви посилюються техногенними змінами, пов'язаними з нафторозвідувальними свердловинами та історичним видобуванням озокериту. Тому оцінювання природних умов і ресурсів Богородчанщини є важливою передумовою геологічного обґрунтування Старунського полігону.

Геологічна будова Карпат і Передкарпатського прогину вивчалася протягом тривалого часу, значною мірою у зв'язку з відкриттям та розробкою родовищ нафти й газу. Для Старунської території особливо важливим є поєднання складної тектонічної будови, різновікових осадових комплексів і проявів вуглеводнів. Саме ця сукупність чинників визначає специфіку природних та ресурсних об'єктів полігону.

Мета та методи дослідження. Мета роботи полягає в узагальненні природних умов і особливостей дочетвертинної геологічної будови Старунського геодинамічного полігону як основи для розуміння його природно-ресурсного потенціалу та геодинамічних особливостей. Методичну основу становить узагальнення геологічних, стратиграфічних, структурно-тектонічних і ресурсних даних, наведених у вихідному матеріалі та його бібліографії. Аналіз виконано з урахуванням взаємного положення структурно-фаціальних

зон, літології основних комплексів, тектонічних порушень і закономірностей розміщення корисних копалин.

Геологічне та структурно-тектонічне положення. Старунський геодинамічний полігон розташований у межах двох структурно-фаціальних зон Передкарпатського прогину — Бориславсько-Покутської та Самбірської. Із сходу територія межує із Більче-Волицькою зоною, а із заходу — зі Скибовою зоною Карпат. Таке положення зумовлює складну будову дочетвертинної основи та мінливість літологічних комплексів у межах відносно невеликої території.

У Бориславсько-Покутській та Скибовій зонах в основі розрізу залягають верхньокрейдові флішові піщано-алевролітові відклади стрийської світи, перекриті палеоценовими пісковиками ямненської світи. Вище розташований еоценовий фліш манявської, вигодської та бистрицької світ, представлений пісковиками, алевролітами й аргілітами. Палеогеновий розріз завершується олігоценовою менілітовою світою, складеною темно-сірими та чорними алевролітами, аргілітами і пісковиками.

На менілітових відкладах місцями зі стратиграфічним неузгодженням залягає моласова формація нижнього міоцену. У Скибовій зоні розріз завершується поляницькими пісковиками, тоді як у Бориславсько-Покутській зоні продовжується накопичення молас воротищенської соленосної та стебницької теригенної світ. Самбірська зона включає стебницькі, балицькі, богородчанські, калуські, косівські та дашавські відклади. У Більче-Волицькій зоні в основі розрізу залягає докембрійський фундамент, перекритий молодшими осадовими комплексами.

Стратиграфія, тектоніка та корисні копалини. Важливою структурною особливістю Бориславсько-Покутської зони є насувна будова. Вона представлена накладеними одна на одну скибами — насувами, спрямованими з південного заходу на північний схід. В основі окремих насувів залягають флішові відклади еоцен-олігоценового віку. Верхня частина флішу, менілітова світа, характеризується високим вмістом органічної речовини і розглядається як нафтоматеринська. Вище залягають моласові утворення воротищенської світи, які виконують роль покришки для нафтових і газових покладів. До їх складу входять пісковики, конгломерати, гравеліти, алевроліти та аргіліти, насичені галітовими і сильвіновими солями.

Розподіл корисних копалин у розрізі має закономірний характер. У палеогенових флішових відкладах південніше та південний захід від Старуні відомі шість родовищ нафти й газу: Гвіздецьке, Південно-Гвіздецьке, Монастирчанське, Пнівське, Пасічнянське та Битків-Бабчинське. У міоценових моласах розміщені соляні родовища. На північній околиці полігону у воротищенській світі розвідано Старунське родовище природних солей — південний фланг Росільнянсько-Марківської соленосної структури. Загальна потужність солей сягає 500 м, а підраховані запаси кам’яної та калійної солі становлять 32,8 млн т.

Особливе значення має Старунське родовище озокериту. Озокерит виявлено на глибинах від 10 до 500 м у вигляді лінз і прошарків потужністю переважно 2–30 см, рідше до декількох метрів, у тріщинуватій зоні верхньої частини соленосної воротищенської світи. Відомий також «озокеритовий камінь», утворений фрагментами твердих карбонатних пісковиків і гіпсу, вкритих озокеритом. Поверхня воротищенських відкладів за даними бурових робіт залягає максимум на глибині близько 17 м під четвертинними відкладами.

Формування озокеритових покладів і геодинамічні прояви. Структурні деформації відіграли визначальну роль у формуванні озокеритових покладів. Під час формування гірсько-складчастої структури Карпат воротищенські відклади були стиснуті та розбиті тріщинами. По цих зонах відбувалася міграція вуглеводнів із флішових відкладів у напрямку земної поверхні. Газоподібні вуглеводні переважно виходили в атмосферу, рідкі насичували четвертинні відклади, а вищі вуглеводні сприяли формуванню озокеритових жил. Нафта, яка й нині виходить на поверхню та бере участь у формуванні грязьових вулканів, розглядається як один із важливих генетичних факторів озокеритових покладів.

У Старунській структурі встановлено розривне порушення, що перетинає родовище від гірничовидобувного поля «Надія» на північ до поля «Лелія-Хелена». Поле «Надія» представлене антикліналлю, зрізаною поверхнею ерозії, вісь якої нахилена на південний захід; «Лелія-Хелена» є повною антикліналлю. Такий характер будови і наявність тріщинуватих зон створюють умови для вертикальної та латеральної міграції флюїдів і пояснюють просторовий зв'язок між глибинними джерелами вуглеводнів та поверхневими проявами на території полігону.

Історія освоєння озокериту та значення території. Старунське родовище озокериту розроблялося у 1868–1960 рр., а найбільш активний видобуток припадав на 1886–1942 рр. У 1886 р. на шахтах «Михайлова» та «Дмитрук» функціонувало 109 робочих лав. У 1907 р. копальні були об'єднані компанією «J. Camper and Co» (Гамбург). За весь період розробки було видобуто понад 5000 т озокериту. Для родовища виділяються два основні гірничі поля — «Надія» та «Лелія-Хелена». За різними літературними джерелами, запаси поля «Надія» становили приблизно 400 тис. т, а запаси «Лелія-Хелена» могли бути ще більшими.

Природні умови полігону необхідно розглядати у регіональному контексті. Богородчанський район простягається від Передкарпатської височинної рівнини через передгір'я та низькогір'я до середньо- і високогір'я Карпат. Одночасно тут сформувався потужний техногенний комплекс, пов'язаний із Богородчанським газотранспортним вузлом, магістральними газопроводами, компресорною станцією та підземним сховищем газу. Поєднання природних і техногенних факторів підсилює значення території для комплексного геолого-екологічного дослідження.

Висновки. Дочетвертинна основа Старунського геодинамічного полігону сформована складною системою структурно-фаціальних зон Передкарпатського прогину та прилеглих частин Карпат, що необхідно враховувати під час геологічного вивчення території.

Насувна будова Бориславсько-Покутської зони, складчастість і тріщинуватість воротищенських відкладів створили умови для міграції вуглеводнів та формування унікального Старунського родовища озокериту.

Для території характерна виражена вертикальна закономірність розміщення корисних копалин: нафтові й газові прояви пов'язані з палеогеновим флішем, солі — з міоценовими моласами, а озокерит — із тріщинуватою зоною воротищенської світи.

Дочетвертинна геологічна основа визначає не лише природно-ресурсний потенціал, а й формування унікальних геологічних і природних об'єктів Старуні, що підвищує значення території для подальших геологічних досліджень, охорони геологічної спадщини та еколого-туристичного використання.

Список використаних джерел:

Котарба М. Й. (2005). Interdisciplinary Polish and Ukrainian studies on the Starunia extinct fauna site in the years 2004–2005. Polish Geological Institute and Society of Research on Environmental Changes "Geosphere", Warszawa–Kraków, 9–20.

Котарба М. Й., Вєцлав Д., Колтун Ю. В., Леван М. Д., Мариновський Л., Дудок І. В. (2005). Organic geochemical study and genetic correlations between source rocks and hydrocarbons from surface seeps and deep accumulations in the Starunia area, fore-Carpathian region, Ukraine. Warszawa–Kraków, 125–145.

Котарба М. Й., Стахович-Рибка Р. (2008). Wyjątkowe stanowisko paleontologiczne i środowisko osadow pleistoceńskich, w których znaleziono nosorożce włochate w Staruni (Karpaty Wschodnie). Przegląd Geologiczny, 56, 442–452.

Рудько Г. І. (2001). Техногенно-екологічна безпека геологічного середовища (наукові та методичні основи). Львів: Видавничий центр ЛНУ ім. І. Франка.

References

Kotarba, M. J. (2005). Interdisciplinary Polish and Ukrainian studies on the Starunia extinct fauna site in the years 2004–2005. Polish Geological Institute and Society of Research on Environmental Changes “Geosphere”, 9–20. [in English].

Kotarba, M. J., & Stachowicz-Rybka, R. (2008). Wyjątkowe stanowisko paleontologiczne i środowisko osadow pleistoceńskich, w których znaleziono nosorożce włochate w Staruni (Karpaty Wschodnie). Przegląd Geologiczny, 56, 442–452. [in Polish].

Kotarba, M. J., Wieclaw, D., Koltun, Y. V., Lewan, M. D., Marynowski, L., & Dudok, I. V. (2005). Organic geochemical study and genetic correlations between source rocks and hydrocarbons from surface seeps and deep accumulations in the Starunia area, fore-Carpathian region, Ukraine (pp. 125–145). [in English].

Rudko, H. I. (2001). Tekhnohenno-ekolohichna bezpeka heolohichnoho seredovyshcha (naukovi ta metodychni osnovy). Lviv: LNU im. Ivana Franka Publishing Center. [in Ukrainian].

УДК 553.94: 551.735(477.82/83)

ЗНАЧЕННЯ МОРФОЛОГІЧНОГО АНАЛІЗУ ПОКЛАДІВ ВУГІЛЛЯ ЛЬВІВСЬКО-ВОЛИНСЬКОГО КАМ'ЯНОВУГІЛЬНОГО БАСЕЙНУ

Матрофайло М.М.[1], *к. геол.-мін. н, с н с, ORCID ID 0000-0002-4175-6037, mmatrofaylo@gmail.com;*
Король М.Д.[2], *kmikola911@gmail.com;* ***Лазар В.О.***[2], *lazarvol@gmail.com,*
1 – Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, Львів, Україна,
2 – Відділ «Геологорозвідувальна експедиція» ВП МПУ ДП «Львіввугілля», м. Сокаль, Україна

Викладено основний зміст та значення морфологічного аналізу для вивчення вугільних пластів і вугленосних формацій, стислий історичний огляд праць і методику, за якою проводили морфологічні дослідження у Львівсько-Волинському басейні. Складено карти морфології вугільних пластів, які відображають морфоструктурні та морфогенетичні особливості і зміни їхніх важливих гірничо-геологічних чинників та явищ на території басейну. З'ясовано, що особливості морфології вугільних пластів на різних площах басейну залежали від змін палеогеографічних (вплив палеогідрографічних систем) і палеотектонічних чинників. Зазначено, що вугільні пласти розщеплюються, утворюючи просту та складну біфуркацію.

Отримані результати проведених досліджень морфології вугільних пластів Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну уточнюють і доповнюють існуючі уявлення про карбонове вугленагромадження на південному заході Східноєвропейської платформи. У прикладному аспекті, доки вугілля є стратегічною сировиною, вони мають і будуть мати значення у вирішенні практичних завдань, пов'язаних з розвідкою, розробкою та визначенням напрямків подальшого промислового розвитку і, зокрема, з прогнозною оцінкою промислової вугленосності глибоких горизонтів Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну.

Ключові слова: вугільний пласт, морфологічний аналіз, геолого-промислова типізація, розщеплення вугільного пласта, біфуркація.

SIGNIFICANCE OF MORPHOLOGICAL ANALYSIS OF COAL SEAMS OF THE LVIV-VOLYN COAL BASIN

Matrofailo M.[1], *Cand. Sci. (Geol.-Mineral.), senior researcher, ORCID ID 0000-0002-4175-6037, mmatrofaylo@gmail.com;*
Korol M.[2], *kmikola911@gmail.com;* ***Lazar V.***[2], *lazarvol@gmail.com ,*
1 – Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals of NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine,
2 – Department «Geologycal Exploration Expedition» of Separate Subdivision of the «Assembly and Drifting of Mine Workings Department» of the SE «Lvivvuhillya», Sokal, Ukraine

In the paper we have quoted the significance and main essence of the morphogenetic analysis for studying of coal seams and coal-bearing formations, a brief historical review of works and methods used for morphological studies in the Lviv-Volyn Coal Basin. The maps of morphologies of the coal seams have been constructed for the first time which depicts morphostructural and morphogenetic features and changes in their important mining-geological factors and phenomena. It was established that special features of the coalbed morphology at different areas of the basin depended upon the changes in paleogeographic (influence of paleohydrographical systems) and paleotectonic factors. Coal seams are splitted, forming a simple and complicated bifurcation of the seams.

The results of the studies of the morphology of coal seams of the Lviv-Volyn coal basin clarify and supplement existing ideas about the Carboniferous coal accumulation in the southwest of the East European Platform. In the applied aspect, as long as coal is a strategic raw material, they have and will be of importance in solving practical problems related to exploration, development and determination of directions for further industrial development and, in particular, with the predictive assessment of the industrial carbon content of the deep horizons of the Lviv-Volyn Coal Basin.

Key words: coal seam, morphological analysis, geological-industrial typification, coal bed splitting, bifurcation.

Вступ. Морфологічний аналіз є науковим і прикладним напрямом досліджень, який інтенсивно розробляється у багатьох галузях знань, у тому числі і в геології. Морфологічні дослідження, як і самі науки, у яких їх проводять, відрізняються об'єктом вивчення, який на сучасному етапі пізнання належить як до органічної, так і до неорганічної природи.

У вугільній геології, зокрема, суттєве значення має напрямок по вивченню морфології вугільних пластів, важливим завданням якого є надійна оцінка їх основних параметрів і явищ, які використовуються для вирішення ряду загальних і конкретних питань.

Морфологічний аналіз вугільних пластів – це метод дослідження вугленосних формацій, який характеризує, визначає та надійно оцінює просторово-часові особливості поширення морфологічних показників вугільних пластів (потужності, мінливості потужності, будови, ураженості розмивами і розщепленнями, контурів нульової і промислової потужності тощо), які використовують для вирішення комплексу наукових і прикладних завдань з метою розширення уявлень про формування вугленосних відкладів і розвиток вугільної промисловості (Matrofailo, 2018, 2025, etc.).

Морфологічний аналіз вугільних пластів є важливим напрямом у вугільній геології, який пояснює походження, утворення сучасної форми і розмірів вугільних пластів та зміни їх параметрів і явищ на площі і в просторі. Фахове цілеспрямоване вивчення морфології вугільних пластів є окремим незалежним напрямком у вугільній геології. Загалом мінливість параметрів природних тіл є об'єктивною і закономірною. Вона не залежить від методів дослідження, визначається з певною точністю і дає можливість лише наблизитись до природної.

Мета роботи – викласти значення морфологічного аналізу вугільних пластів, навести стислий історичний огляд робіт по вивченню морфології вугільних пластів та методику, за якою проводились дослідження, та навести основні методичні положення геолого-промислової типізації, морфолого-генетичної типізації розщеплень і особливості морфології вугільних пластів Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну.

Методи дослідження. В основу морфологічного аналізу вугільних пластів покладено методи: картування й геолого-промислової типізації основних морфологічних параметрів вугільних пластів; кореляції відкладів карбону; літолого-стратиграфічного й палеопотамічного аналізів; побудови деталізаційних морфологічних розрізів і профілів; палеореконструкції вугленосних відкладів; розрахункова методика визначення коефіцієнта усадки потужності вихідної органічної речовини вугілля в інтервалі зрілий торф – кам'яне вугілля; визначення максимально допустимої потужності міжпластового породного прошарку (за зольністю) для сумісної розробки пачок вугільного пласта і проведення контуру у зонах його розщеплення; палеотектонічний аналіз відкладів карбону тощо. Для складання карт морфології і потужності вугільних пластів розроблено і застосовано спеціальну систему умовних позначень.

Важливе значення при вивченні морфології вугільних пластів мають буріння свердловин, геофізичні і шахтні методи, без яких неможливе дослідження глибинної геологічної будови вугленосної формації ЛВБ. Вони систематично проводяться Львівською, Львівсько-Волинською геологорозвідувальними експедиціями і вуглевидобувним підприємством ДП «Львіввугілля».

Огляд вивченості морфології вугільних пластів. Під час вивчення морфології вугільних пластів Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну вирішувались різноманітні питання. Зокрема, у статті (Fedushchak, 1970) залежно від кількості породних прошарків і залягання сапропелітів щодо гумусового вугілля автори виділили 17 різновидів будови продуктивних пластів. У праці (Vyrvich et al., 1978) наведено характерні різновиди будови продуктивних пластів, а у монографії (Shulga et al., 1992) описано особливості морфології основних промислових вугільних пластів υ_6, $n_7^н$, n_7, $n_7^в$, n_8, $n_8^в$, n_9, b_1, b_4 Нововолинського і Червоноградського вуглепромислових районів.

Згодом було проведено вивчення морфології вугільних пластів υ_6 на території Великомостівських і Червоноградських шахт і $n_7^в$ Південно-Західного вугленосного району. Для цих площ, за даними геологорозвідувального буріння, геофізичних досліджень і шахтної документації, побудовано карти морфології пластів υ_6 у масштабі 1:10 000 і $n_7^в$ у масштабі 1:25 000. У праці (Matrofailo, 1996) наведено результати

детальних досліджень морфології основних промислових пластів басейну $n_7^н(n_7)$, $n_7(n_7^1)$, $n_7^в$, n_8, $n_8^в$, n_9. Зокрема, уперше по Південно-Західному району побудовано карти морфології цих пластів. У низці публікацій викладено результати детального вивчення особливостей морфології основних промислових пластів, розщеплень, відмін морфології вугільних пластів родовищ і районів ЛВБ та ін.

Унаслідок проведених морфогенетичних досліджень останніх років визначено особливості й тектонічну та атектонічну природу утворення розщеплень вугільних пластів басейну; узагальнено геологічні, у тому числі морфологічні дані з вугленосності ЛВБ України і Люблінського басейну Польщі (Shulga et al., 2007) та ін.

Результати досліджень. Завдяки вивченню морфології вугільних пластів Донецького, Львівсько-Волинського та інших кам'яновугільних басейнів зроблено суттєві доповнення, спрямовані на вдосконалення методики морфологічного аналізу (Matrofailo, 1996, 2016, 2018, 2025; Shulga et al., 1992, etc.), до якого належать методи картування (масштаб: 1:25 000, 1:10 000) і геолого-промислової типізації за основними морфологічними параметрами вугільних пластів (табл. 1), літолого-стратиграфічного аналізів, побудови деталізаційних морфологічних розрізів.

Таблиця 1

Головні морфологічні показники геолого-промислової типізації вугільних пластів Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну

Морфологічні показники вугільного пласта	Індекси і градації морфологічних показників			
Потужність I, м	I дуже тонкий	II тонкий	III середній	IV потужний
	до 0,60	0,61–1,20	1,21–2,0	більше 2,0
Мінливість потужності M	M_1 ділянки зі слабкою і середньою мінливістю		M_2 ділянки з сильною і дуже сильною мінливістю	
	коефіцієнт варіації <15%		коефіцієнт варіації >15%	
Будова CT	CT_1 проста	CT_2 середньої складності	CT_3 складна	CT_4 дуже складна
	без породних прошарків	один породний прошарок	два породних прошарки	три і більше породних прошарків
Ураженість розмивами і заміщеннями P, %	P_1 слабка	P_2 середня	P_3 сильна	P_4 дуже сильна
	до 10	10–30	30–50	більше 50

На початковому етапі робіт за даними бурових свердловин будували великомасштабні літолого-стратиграфічні розрізи вугленосних відкладів, зорієнтованих як навхрест, так і за простяганням їхнього залягання (рис. 1). Відстань між сусідніми розрізами становила 6–12 км, між свердловинами у розрізах – 250–500 м. Для усунення певного впливу поствугленосних тектонічних процесів і тим самим полегшення побудови розрізів за нульову лінію брали підошву найбільш поширених і витриманих вугільних пластів, які займали в період свого формування приблизно горизонтальне положення. За розрізами зіставляли окремі колонки свердловин, проводили кореляцію вугільних пластів і порід. Уточнювали синоніміку пластів вугілля. За такої методики побудов на розрізах чітко виділялися регіональні особливості зміни потужності, складу, будови і вугленосності відкладів, послідовності розташування окремих пластів вугілля.

У першому наближенні виявляли характер ускладнення будови вугільних пластів і зміни їхньої потужності, а на основі проведеної кореляції вугільних пластів показано, що за період формування карбонової формації ЛВБ відбувалося поступове збільшення потужності вугленосних відкладів Любельського родовища порівняно з Тяглівським.

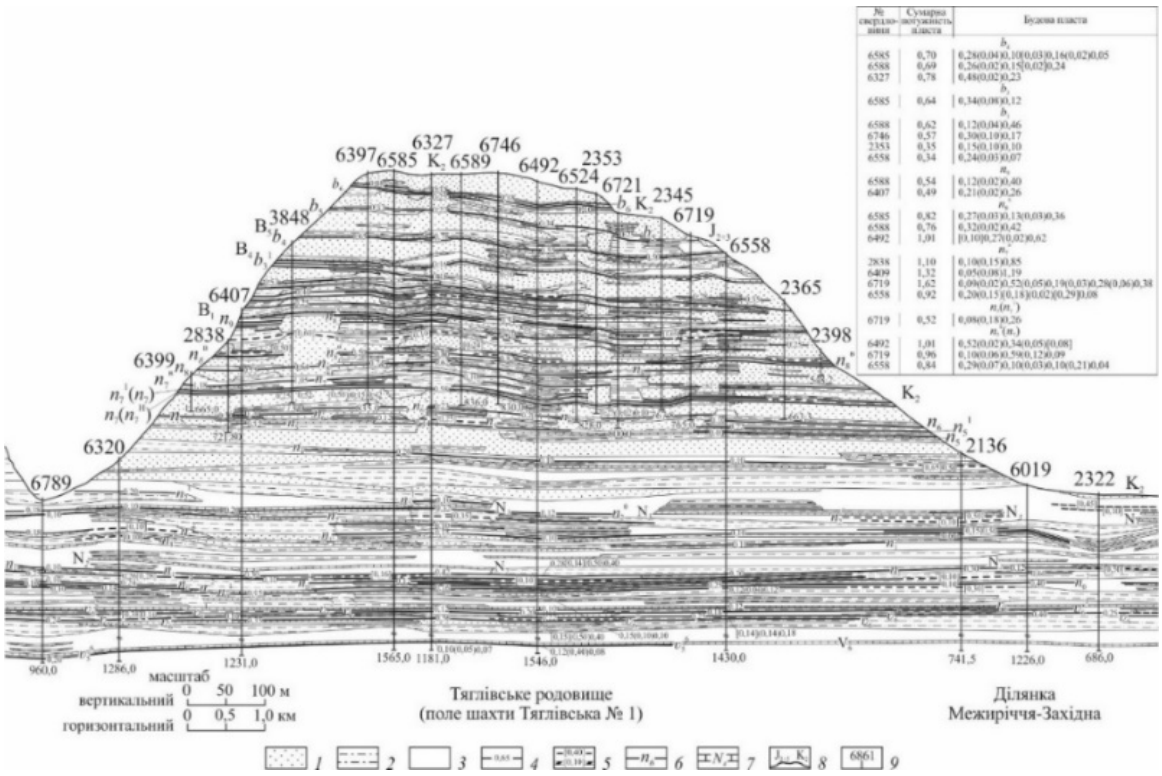


Рис. 1. Літолого-стратиграфічний розріз вугільних пластів верхньої вугленосної підформації Тяглівського родовища Південно-Західного вугленосного району ЛВБ:
1 – пісковик; 2 – алевроліт; 3 – аргіліт; 4 – вугільний пласт і його потужність, м;
5 – вуглистий аргіліт і його потужність, м; 6 – синоніміка вугільного пласта;
7 – вапняк і його синоніміка; 8 – юрський і крейдяний розмиви вугленосної формації;
9 – бурова свердловина і її номер

Для вивчення деталей будови окремих пластів вугілля та їхньої зміни у просторі, співвідношення з підошвою і покрівлею у напрямі літолого-стратиграфічних розрізів у подальшому будували великомасштабні деталізовані морфологічні профілі і розрізи пластів (рис. 2). На розрізах зображали не лише прошарки порід усередині основного вугільного пласта, а й відщеплені від нього пласти (пачки) вугілля. Покрівля (підошва) основного пласта була горизонтальною лінією. Оскільки деталізовані розрізи мають практичне значення для прогнозу гірничо-геологічних умов розробки вугільних пластів, на них зображали склад порід, які покривають і підстеляють вугілля потужністю 10–12 м. Побудовані розрізи дали змогу з необхідною детальністю виявити особливості будови пластів вугілля, характер і площу поширення їхніх розмивів, розщеплень і заміщень, мінливості потужності вугільних пачок і прошарків, які їх розділяють, та виявити складну кількаразову біфуркацію при розщепленні вугільних пластів. Такі побудови дали змогу простежити по окремих напрямах особливості зміни складу і будови відкладів карбону та окремих вугільних пластів у межах родовищ і басейну. Такі дослідження є передумовами для складання великомасштабних (1:25 000) карт морфології вугільних пластів (рис. 3), з використанням фактичного матеріалу як геологорозвідувальних, так і гірничоексплуатаційних робіт для підвищення достовірності побудов.

Зміну геологічної потужності пластів, яка містить внутрішньопластові породні прошарки, а також вуглисті аргіліти, які залягають безпосередньо в їхніх покрівлі і підошві, зображували ізопахітами, проведеними через 0,20 м, а ізогіпси підошви пласта – через 50 м. Крім того, виділяли площі, які відрізняються за типом будови, відсутності пластів, лінії розщеплень. За межу зони розщеплення в ЛВБ взято ізолінію породного прошарку потужністю 0,50 м. Для ділянок зі складною будовою на картах зображували колонки вугільних пластів із зазначенням літологічного складу внутрішньопластових прошарків порід, а також порід безпосередньої підошви і покрівлі.

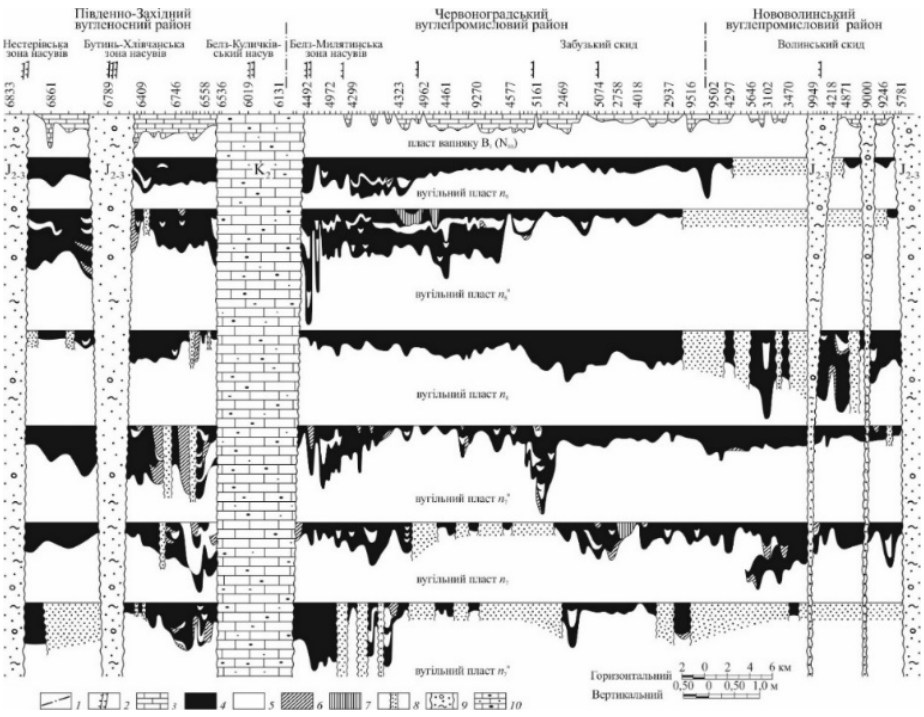


Рис. 2. Деталізовані морфологічні профілі основних промислових вугільних пластів верхньої вугленосної підформації Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну:
***1* – граница вуглепромислових районів; *2* – диз'юнктивні тектонічні порушення; *3* – вапняк; *4* – вугілля; *5* – породний прошарок; *6* – вуглистий аргіліт; *7* – сапропеліт; *8* – внутрішньоформаційні розмиви і заміщення вугільних пластів; *9–10* – юрські (*9*) і крейдові (*10*) епігенетичні розмиви вугленосної формації.**
Примітка: в зонах розщеплень зображена робоча пачка вугільних пластів.

Наступний етап методики вивчення морфології пластів вугілля полягав у їхній геолого-промисловій типізації за допомогою буквено-цифрової індексації основних морфологічних показників, які є важливими гірничо-геологічними факторами розробки покладів, відповідно до прийнятих градацій класифікацій і інструкцій та методик. Відповідно до наведених градацій на морфологічних картах проводили районування – виділення ділянок або зон, які характеризуються переважними значеннями потужності, мінливості потужності і будови вугільного пласта, а також ураженості його розмивами. Межі зазначених зон (ділянок) визначали особливостями розподілу на площі головного гірничо-геологічного чинника – потужності вугільного пласта.

Загалом по пласту, а також по кожній виділеній зоні, шахтному полю, розвідувальній ділянці в абсолютних величинах і відсотках визначали значення ступеня розвитку зазначених морфологічних показників. На підставі переважних конкретних їхніх значень надалі виконували типізацію шахтопластів, шахтних полів, розвідувальних ділянок. На картах морфології зображали буквено-цифровий індекс, який характеризує морфологічний тип пласта. Завдяки побудові морфологічних карт у великому масштабі і використанню принципу районування стало можливим у простій і зручній для практичного використання формі показати геологічні дані про характер зміни на площі багатьох морфологічних показників пластів, які визначають умови розробки вугільних родовищ.

Новизна досліджень полягає, зокрема, у такому: складено карти морфології основних промислових пластів Південно-Західного району ЛВБ і проведено їх геолого-промислову типізацію за основними морфологічними показниками; виконано морфолого-генетичну типізацію розщеплень вугільних пластів і виділено тектонічний і атектонічний типи розщеплень; дано визначення терміну *морфологічний аналіз вугільних пластів* та ін.

Такі дослідження доповнюють існуючі уявлення про карбонове вугленагромадження на південному заході Східноєвропейської платформи, вдосконалюють методику морфологічного аналізу покладів вугілля і мають значення у вирішенні практичних завдань, пов'язаних з подальшим розвитком вугільної промисловості західного регіону України.

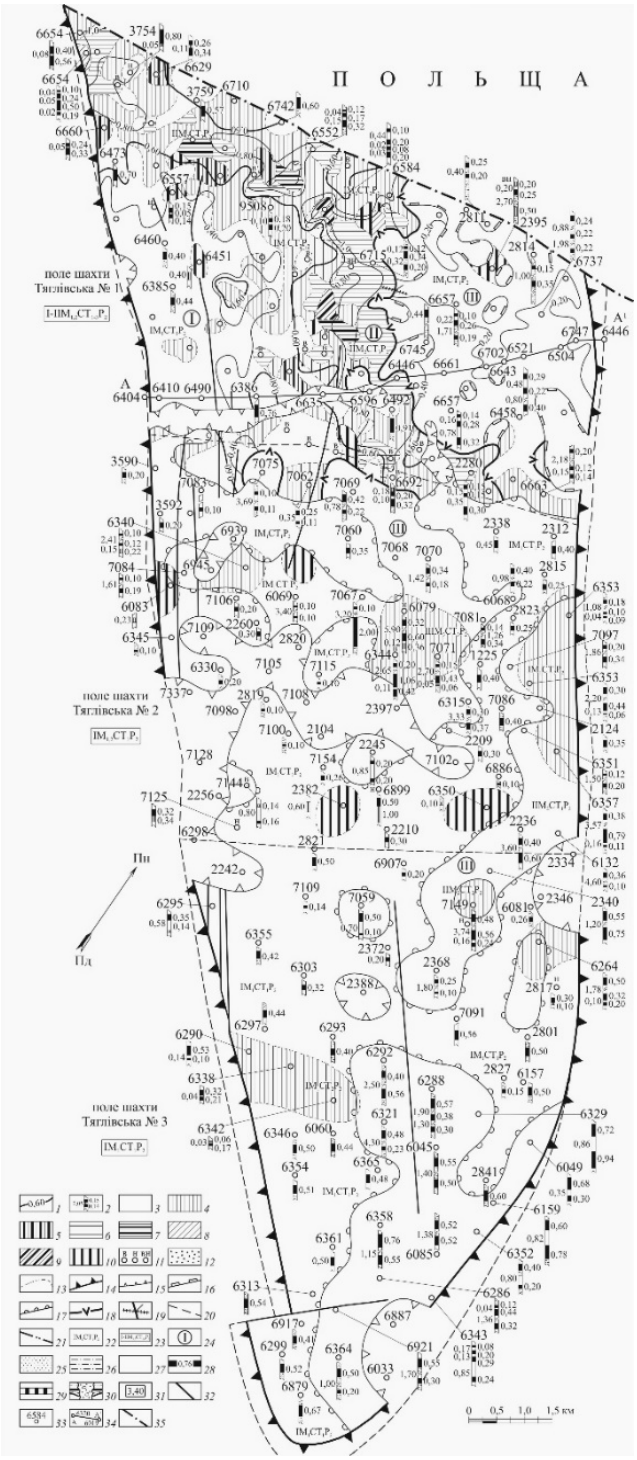


Рис. 3. Карта морфології вугільного пласта $n_7^1(n_7)$ Тяглівського родовища Південно-Західного вугленосного району Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну:
***1* – ізопахіти пласта, м; *2* – структура пласта, потужність вугільних пачок і породних прошарків; *площі поширення різної будови пласта: 3* – простої (без породних прошарків – CT_1); *4* – середньої складності (один породний прошарок – CT_2); *5* – середньої складності з одним породним прошарком, який частково або повністю складений вуглистим аргілітом; *6* – складної (два породні прошарки) – CT_3); *7* – складної з двома породними прошарками, які частково або повністю складені вуглистим аргілітом; *8* – дуже складної (три і більше породних прошарків – CT_4); *9* – дуже складної з трьома і більше породними прошарками, які представлені вуглистим аргілітом; *10* – заміщення вугільного пласта вуглистим аргілітом; *11* – розташування вуглистих аргілітів: *в* – у покрівлі вугільного пласта; *н* – у підошві пласта; *вн* – у покрівлі й підошві пласта; *12* – складна мінливість потужності вугільного плата; *межі: 13* – ділянок з різною будовою пласта; *14* – епігенетичного посткарбонового розмиву вугленосної формації; *15* – епігенетичного внутрішньоформаційного (переважно**

епіторф'яного) розмиву вугільного пласта; *16* – сингенетичного і ранньоепігенетичного (переважно синторф'яного і ранньоепіторф'яного) розмиву вугільного пласта; *17* – передбачуваного виклинювання вугільного пласта, пачки; *18, 19* – розщеплення вугільного пласта, штрихуванням зображено, для якої вугільної пачки пласта побудовано карту морфології і проведено геолого-промислову типізацію; *20* – шахтного поля; *21* – районів басейну; *буквено-цифровий індекс: 22* – ділянки вугільного пласта; *23* – переважний для пласта в межах шахтного поля; *24* – морфолого-генетичні зони пластів: I – простої (переважно простої) будови; II – неоднорідної складної («мозаїчної») будови; III – розщеплення.

Висновки. Морфологічний аналіз вугільних пластів має вагоме значення для вирішення широкого кола наукових і прикладних завдань, а розроблені принципи типізації пластів за основними морфологічними показниками, важливі для характеристики, порівняльної оцінки і прогнозування умов розробки родовищ.

На основі морфологічного аналізу проведено геолого-промислову типізацію шахто- і ділянкопластів за основними морфологічними показниками для всіх районів ЛВБ; складено літолого-стратиграфічні розрізи вугленосної товщі і морфологічні карти вугільних пластів у масштабі 1:25 000, визначено особливості їхньої морфології.

Важливе наукове і прикладне значення проведених досліджень полягає у пізнанні загальних процесів формування вугленосних відкладів. Викладений матеріал важливий для з'ясування особливостей будови, умов утворення і порівняльного аналізу вугленосних формацій Львівсько-Волинського та інших кам'яновугільних басейнів і вдосконалення методики морфологічного аналізу покладів вугілля.

За результатами досліджень зроблено висновок, що вивчення морфологічних особливостей вугільних пластів необхідно продовжувати у таких напрямах: деталізація й уточнення морфології вугільних пластів з урахуванням нових даних про вугленосність глибоких горизонтів і нових перспективних площ; узагальнення матеріалів і складання карт морфології вугільних пластів для всієї території Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну.

Список використаних джерел:

Вырвич Г. П., Гигашвили Э. П., Дубик З. Г., Ершов В. З., Жуков П. П., Лукьяненко Н. И., Наумченко Л. В., Петровский Ю. В. (1978). Каменные угли Львовско-Волынского бассейна. Львов: Вища щкола, изд-во при Львов. ун-те, 175 с.

Матрофайло М. М. (1996). Морфологія вугільних пластів Південно-Західного вугленосного району Львівсько-Волинського басейну [Неопубл. автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. геол.-мін. наук]. Львів, ІГГГК НАН України, 21 с.

Матрофайло М. (2016). Щодо методики морфологічного аналізу вугільних пластів Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну. *Вісник Львів. ун-ту. Сер. Геологічна*, 30, 159–164.

Матрофайло М. М. (2018). Різновиди мінливості морфології вугільних пластів кам'яновугільних басейнів. *Збірник наукових праць ІГН НАН України*, 11, 32–39.

Матрофайло М. М. (2025). Усадка початкової органічної речовини вугілля: спосіб встановлення морфолого-генетичних типів розщеплень вугільних пластів Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну. В *Earth Sciences, Geography, and Cartography: Regional Studies and Spatial analysis*: Scientific monograph (edited by authors). Riga, Latvia : "Baltija Publishing", 58–81.

Федущак М. Ю. (1970). Морфологічні типи і умови формування продуктивних вугільних пластів Львівсько-Волинського басейну. *Геологія і геохімія горючих копалин*, 24, 74–83.

Шульга В. Ф., Здановски А., Зайцева Л. Б., Иванова А. В., Иванина А. В., Король Н. Д., Котасова А., Котас А., Костик И. Е., Лелик Б. И., Мигер Т., Маничев В. И., Матрофайло М. М., Птак Б., Савчук В. С., Седаева Г. М., Степаненко Я. Г. (2007).

Корреляция карбоновых угленосных формаций Львовско-Волынского и Люблинского бассейнов. Киев: Варта, 427 с.

Шульга В. Ф., Лелик Б. И., Гарун В. И., Маничев В. И., Стасив В. П. Савенок С. С., Седаева К. М., Шварцман Е. Г. (1992). Атлас литогенетических типов и условия образования угленосной формации Львовско-Волынского бассейна. Киев: Наук. Думка, 176 с.

References

Fedushchak, M. Yu. (1970). Morfolohichni typy i umovy formuvannia produktyvnykh vuhilnykh plastiv Lvivsko-Volynskoho baseinu. Heolohiia i heokhimiia horiuchykh kopalyn, 24, 74–83 [in Ukrainian].

Matrofailo, M. M. (1996). Morfolohiia vuhilnykh plastiv Pivdenno-Zakhidnoho vuhlenosnoho raionu Lvivsko-Volynskoho baseinu [Unpublished kand. heol.-min. dissertation]. IHHHK NAN Ukrainy, Lviv [in Ukrainian].

Matrofailo, M. (2016). Shchodo metodyky morfolohichnoho analizu vuhilnykh plastiv Lvivsko-Volynskoho kamianovuhilnoho baseinu. *Visnyk Lviv. un-tu. Ser. Heolohichna*, 30, 159–164 [in Ukrainian].

Matrofailo, M. M. (2018). Riznovydy minlyvosti morfolohii vuhilnykh plastiv kamianovuhilnykh baseiniv. *Zbirnyk naukovykh prats IHN NAN Ukrainy*, 11, 32–39 [in Ukrainian].

Matrofailo, M. M. (2025). Usadka pochatkovoi orhanichnoi rechovyny vuhillia: sposib vstanovlennia morfoloho-henetychnykh typiv rozshcheplen vuhilnykh plastiv Lvivsko-Volynskoho kamianovuhilnoho baseinu. V *Earth Sciences, Geography, and Cartography: Regional Studies and Spatial analysis*: Scientific monograph (edited by authors). Riga, Latvia : “Baltija Publishing”, 58–81 [in Ukrainian].

Shulga, V. F., Lelik, B. I., Garun, V. I., Manichev, V. I., Stasiv, V. P. Savenok, S. S., Sedaeva, K. M. & Shvartsman, E. G. (1992). *Atlas of lithogenetic types and formation conditions of coal-bearing deposits of the Lviv-Volyn Basin*: monograph. Kyiv: Naukova dumka [in Russian].

Shulga, V. F., Zdanovsky, A., Zaitseva, L. B., Ivanova, A. V., Ivanina, A. V., Korol, N. D., Kotasova, A., Kotas, A., Kostik, I. E., Lelik, B I., Miger, T., Manichev, V. I., Matrofailo, M. M., Ptak, B., Savchuk, V. S., Sedaeva, G. M. & Stepanenko, Ya. (2007). *Correlation of the carboniferous coal-bearing formations of the Lviv-Volyn and Lublin basins*: monograph. Kyiv: Varta [in Russian].

Vyrvich, G. P., Gigashvili, E. P., Dubik, Z. G., Ershov, V. Z., Zhukov, P. P., Lukyanenko, N. I., Naumchenko, L. V. & Petrovsky, Yu. V. (1978). *Coals of the Lviv-Volyn basin*: monograph. Lviv: Vishcha school, Publishing House at Lviv. Un-te [in Russian].

УДК 553.04

ВИВЧЕННЯ ГЛИБОКОЗАНУРЕНИХ ГЕОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ ГЕОФІЗИЧНИМИ ДОСЛІДЖЕННЯМИ

Осташ О.М., *аспірант, ORCID ID 0009-0003-2244-5019, olehostash7@gmail.com,*
Анікеєв С.Г., *к. геол. н., доцент, ORCID ID 0000- 0002-7377-7326,*
anikeyevsergiy@gmail.com,
Омельченко В.Г., *к. геол. н., доцент, ORCID ID 0000-0002-2939-4088, ovgeo@nung.edu.ua,*
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ, Україна

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю розширення ресурсної бази вуглеводнів Західного нафтогазоносного регіону України за умов тривалого освоєння традиційних об'єктів і зниження темпів приросту запасів. Розглянуто глибокозанурені геологічні комплекси та структурні об'єкти Кросненської зони Українських Карпат на глибинах понад 4,5–5,0 км. Метою роботи є зменшення невизначеності геологічної інтерпретації шляхом інтеграції сейсмічних, гравітаційних, петрофізичних, свердловинних і структурно-тектонічних даних. Виконано комплексну інтерпретацію системи геогустинних моделей I–V та їх міжпрофільне зіставлення. Встановлено повторюваність структурно-густинної комбінації, а на профілях III–V – підвищену ступінчасто-блокову диференціацію глибокої модельної основи. За сукупністю взаємодоповнювальних характеристик III-A2, IV-A2 і V-A2 визначено як пріоритетні об'єкти для подальшої перевірки. Підкреслено, що модельні густинні неоднорідності не є прямим еквівалентом колектора, а виявлені закономірності не доводять наявності покладів. Запропоновано послідовність подальших робіт: сейсмічна деталізація, локальна петрофізична та свердловинна перевірка, дослідження тріщинуватості, визначення термобаричних умов і лише після цього — обґрунтування можливого буріння.

Ключові слова: Кросненська зона; Українські Карпати; глибокозанурені об'єкти; геогустинне моделювання; інтегрована геолого-геофізична інтерпретація; структурно-густинна неоднорідність.

STUDY OF DEEPLY BURIED GEOLOGICAL OBJECTS BY GEOPHYSICAL METHODS

Ostash O., *postgraduate, ORCID ID 0009-0003-2244-5019, olehostash7@gmail.com,*
Anikeyev S., *Cand. Sci. (Geol.), Assoc. Prof., ORCID ID 0000- 0002-7377-7326,*
anikeyevsergiy@gmail.com,
Omelchenko V., *Cand. Sci. (Geol.), Assoc. Prof., ORCID ID 0000-0002-2939-4088,*
ovgeo@nung.edu.ua

The study is motivated by the need to expand the hydrocarbon resource base of the Western Oil and Gas Region of Ukraine under conditions of long-term development of traditional targets and declining reserve growth. Deeply buried geological complexes and structural objects of the Krosno Zone of the Ukrainian Carpathians at depths exceeding 4.5–5.0 km are considered. The aim is to reduce geological interpretation uncertainty through integration of seismic, gravity, petrophysical, well and structural-tectonic data. The I–V geodensity models were interpreted using a unified scheme and compared across profiles. A recurring structural-density combination was identified, while profiles III–V show stronger stepwise-block differentiation of the deep model basement. Objects III-A2, IV-A2 and V-A2 were selected as priorities for further verification based on convergence of complementary characteristics. The identified density heterogeneities are not treated as direct equivalents of reservoirs, and the results do not prove the presence of hydrocarbon accumulations. Further work should include seismic detailing, local petrophysical and well verification, fracture assessment, determination of pressure and temperature conditions, followed only then by consideration of exploration drilling.

Keywords: Krosno Zone; Ukrainian Carpathians; deeply buried objects; geodensity modelling; integrated geological-geophysical interpretation; structural-density heterogeneity.

Вступ. Освоєння значної частини традиційних нафтогазових об'єктів Західного регіону України супроводжується необхідністю пошуку нових ресурсних можливостей. Одним із перспективних напрямів є дослідження глибокозанурених комплексів на глибинах понад 4,5–5,0 км. Водночас висока вартість глибокого буріння, складна складчасто-насувна та блоково-розломна будова Українських Карпат і зниження інформативності окремих геофізичних ознак у глибинному середовищі зумовлюють потребу в комплексній інтерпретації даних. Сейсмічний структурний каркас доцільно узгоджувати з гравітаційним полем, петрофізичною, свердловинною та структурно-тектонічною інформацією.

Мета та методи дослідження. Метою роботи є розвиток і практичне застосування інтегрованого сейсмо-гравітаційного підходу, доповненого петрофізичними, свердловинними та структурно-тектонічними даними, для зменшення невизначеності геологічної інтерпретації глибокозанурених об’єктів і визначення пріоритетних структурно-густинних об’єктів для подальшої перевірки.

Методичну основу становили аналіз та узагальнення геологічних і геофізичних матеріалів, аналіз сейсмічного структурного каркаса, гравіметричний аналіз і геогустинне моделювання, використання петрофізичних та свердловинних даних, матеріалів геофізичних досліджень свердловин (ГДС), структурно-тектонічний аналіз, міжпрофільне зіставлення та комплексна геологічна інтерпретація. Під час інтерпретації розмежовували рівні доказовості: сейсмічні дані використовували передусім для контролю геометрії структур, гравітаційні — для оцінювання узгодженості моделі з полем сили тяжіння, а петрофізичні, свердловинні та ГДС-дані — для оцінювання фізико-геологічної допустимості трактувань.

Результати дослідження. Система геогустинних моделей I–V Кросненської зони була розглянута як єдина серія з уніфікованою схемою аналізу, що охоплює структурну геометрію, стратиграфічне положення модельних тіл, модельні густини, диз’юнктивне розчленування, характер гравітаційного поля та межі допустимої інтерпретації. Кінцеві нев’язки результативних моделей становлять 0,24–0,25 мГал, що свідчить про близький рівень формального узгодження розрахованого та спостереженого полів. Водночас цей показник не розглядається як доказ геологічної унікальності моделі, достовірності конкретної стратиграфічної інтерпретації чи нафтогазоперспективності.

На всіх п’яти профілях I–V встановлено повторюваність одного типу структурно-густинної комбінації. Локально знижені модельні густини осадових тіл палеогенового, крейдового та суміжного структурно-стратиграфічного рівнів просторово поєднуються з виразною структурною перебудовою та диз’юнктивним розчленуванням переважно у відносно північно-східних або центрально-північно-східних частинах профілів. Ця повторюваність характеризує тип просторового співвідношення ознак, але не доводить латеральної безперервності одного геологічного тіла.

Для профілів III–V характерною є підвищена виразність глибинної неоднорідності, яка проявляється передусім у ступінчасто-блоковій геометричній диференціації глибокої модельної основи PZ–MZ, що відповідає палеозойсько-мезозойському нерозчленованому комплексу. При цьому систематичного збільшення амплітуди її густинної диференціації не встановлено: густинний розмах на III–V не перевищує відповідного розмаху на I–II. Тому підвищена неоднорідність має переважно геометричний, а не густинно-амплітудний характер.

Геологічне трактування виконано з урахуванням принципового обмеження: локальна відносна густинна неоднорідність не є прямим еквівалентом колектора. Модельна густина є інтегральним параметром, що може залежати від літології, мінерального складу, цементації, ущільнення, пористості, тріщинуватості, вторинних перетворень та параметризації моделі. Відповідно, нижче модельне значення густини не може однозначно бути перераховане в пористість або проникність. Так само положення біля розлому не гарантує його фільтраційної ефективності.

Виділення пріоритетних об’єктів та наукова новизна. За результатами послідовного профільного, міжпрофільного та геологічно обмеженого аналізу III-A2, IV-A2 і V-A2 визначено як пріоритетні профільні структурно-густинні об’єкти для подальшої перевірки. I-A2 і II-A2 залишено як об’єкти підвищеного геологічного інтересу другого пріоритету. Розмежування здійснено не за мінімальною абсолютною модельною густиною, а за конвергенцією взаємодоповнювальних характеристик — повторюваного структурно-густинного типу та виразної ступінчасто-блокової геометрії глибокої модельної основи. Зазначений статус не означає встановлення колекторських властивостей, продуктивності чи наявності покладів.

Наукова новизна полягає у подальшому розвитку комплексної геологічної інтерпретації профільних геогустинних моделей I–V шляхом стандартизованого міжпрофільного зіставлення структурних, стратиграфічних, густинних і диз'юнктивних характеристик із чітким розмежуванням профільного факту, міжпрофільної повторюваності та геологічного трактування. Такий підхід забезпечує доказово обмежений перехід від конвергенції взаємодоповнювальних характеристик до визначення пріоритету зовнішньої сейсмічної, петрофізичної та свердловинної перевірки.

Практичне значення. Практичне значення роботи полягає у звуженні простору геологічної невизначеності, систематизації профільних структурно-густинних неоднорідностей та визначенні обмеженої групи ділянок, де отримання нової інформації має найбільшу інтерпретаційну цінність. Подальші дослідження доцільно здійснювати послідовно: сейсмічна деталізація структурної геометрії та положення розломів; локальна петрофізична перевірка керновими і ГДС-даними; дослідження тріщинного чинника; визначення пластових тисків і температурних умов; після цього — обґрунтування можливого пошуково-розвідувального буріння.

Межі результатів визначаються двовимірним характером профільних моделей, відсутністю доведеної латеральної безперервності виділених неоднорідностей, нерівномірністю локального свердловинного контролю, неоднозначністю генезису модельних густинних контрастів та неєдиністю гравіметричного рішення. Аномально високий пластовий тиск, вторинна пористість та ефективна тріщинуватість безпосередньо для III-A2, IV-A2 або V-A2 не встановлені.

Висновки. 1. Комплексне сейсмо-гравітаційне моделювання з використанням петрофізичних, свердловинних і структурно-тектонічних даних дає змогу систематизувати ознаки глибокозанурених об'єктів Кросненської зони та обмежити невизначеність їх інтерпретації.

2. На профілях I–V встановлено повторюваність структурно-густинної комбінації, а на III–V — підвищену ступінчасто-блокову геометричну диференціацію глибокої модельної основи PZ–MZ.

3. Об'єкти III-A2, IV-A2 і V-A2 визначено як пріоритетні для подальшої зовнішньої перевірки. Це не є доказом наявності колекторів або покладів і не замінює локальних сейсмічних, петрофізичних та свердловинних досліджень.

4. Кінцевим результатом є геологічно аргументована та доказово обмежена основа для цільової перевірки глибокозанурених об'єктів, а не встановлення їх продуктивності.

Список використаних джерел:

Анікеєв С. Г. Комп'ютерна система рішення прямих та обернених задач гравірозвідки для 2D/3D моделей складнопобудованих середовищ. Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. 1997. Вип. 34. С. 57–63.

Анікеєв С. Г. Методика інтерпретації гравіметричних матеріалів при довільній будові геологічних середовищ : автореф. дис. ... канд. геол. наук. Інститут геологічних наук НАН України. Київ, 1999. 15 с.

Анікеєв С. Г., Максимчук В. Ю., Пиріжок Н. Б. Густинна модель земної кори Українських Карпат по профілю PANCAKE. Геодинаміка. 2022. № 2 (33). С. 28–49. DOI: 10.23939/jgd2022.02.028.

Маєвський Б. Й., Анікеєв С. Г., Мончак Л. С., Степанюк В. П., Хомин В. Р., Куровець С. С., Здерка Т. В., Манюк М. І. Новітні дослідження геологічної будови і перспектив нафтогазоносності глибокозанурених горизонтів Українських Карпат : монографія. Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2012. 183 с.

Маєвський Б. Й., Хомин В. Р., Здерка Т. В., Куровець С. С., Манюк М. І. Прогнозування перспектив нафтогазоносності глибокозанурених горизонтів Передкарпатського прогину з використанням геолого-статистичного моделювання. Геоінформатика. 2007. № 1. С. 54–61.

Маєвський Б. Й., Хомин В. Р., Манюк М. І., Куровець С. С., Здерка Т. В. Прогнозування фазового стану вуглеводнів на великих глибинах у Передкарпатському прогині. Геоінформатика. 2011. № 3. С. 30–35.

References

Anikeiev, S. H. (1997). Kompiuterna systema rishennia priamykh ta obernenykh zadach hravirozvidky dlia 2D/3D modelei skladnopobudovanykh seredovyshch. Rozvidka ta rozrobka naftovykh i hazovykh rodovyshch, 34, 57–63. [in Ukrainian].

Anikeiev, S. H. (1999). Metodyka interpretatsii hravimetrychnykh materialiv pry dovilnii budovi heolohichnykh seredovyshch [Author's abstract of candidate dissertation, Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine]. [in Ukrainian].

Anikeiev, S. H., Maksymchuk, V. Yu., & Pyrizhok, N. B. (2022). Hustynna model zemnoi kory Ukrainskykh Karpat po profiliu PANCAKE. Heodynamika, 2(33), 28–49. https://doi.org/10.23939/jgd2022.02.028 [in Ukrainian].

Maievskyi, B. Y., Anikeiev, S. H., Monchak, L. S., Stepaniuk, V. P., Khomyn, V. R., Kurovets, S. S., Zderka, T. V., & Maniuk, M. I. (2012). Novitni doslidzhennia heolohichnoi budovy i perspektyv naftohazonosnosti hlybokozanurenykh horyzontiv Ukrainskykh Karpat [New studies of the geological structure and hydrocarbon potential of deeply buried horizons of the Ukrainian Carpathians]. IFNTUOG. [in Ukrainian].

Maievskyi, B. Y., Khomyn, V. R., Zderka, T. V., Kurovets, S. S., & Maniuk, M. I. (2007). Prohnozuvannia perspektyv naftohazonosnosti hlybokozanurenykh horyzontiv Peredkarpatskoho prohynu z vykorystanniam heoloho-statystychnoho modeliuvannia. Heoinformatyka, 1, 54–61. [in Ukrainian].

Maievskyi, B. Y., Khomyn, V. R., Maniuk, M. I., Kurovets, S. S., & Zderka, T. V. (2011). Prohnozuvannia fazovoho stanu vuhlevodniv na velykykh hlybynakh u Peredkarpatskomu prohyni. Heoinformatyka, 3, 30–35. [in Ukrainian].

УДК 550.831

ТОЧНЕ КАРТУВАННЯ КОМЕРЦІЙНИХ ПОКЛАДІВ ВУГЛЕВОДНІВ ТА ОЦІНКА ДРЕНОВАНИХ ЗАПАСІВ І ПОЧАТКОВИХ ДЕБІТІВ СВЕРДЛОВИН ГАРАНТУЮТЬСЯ СПІЛЬНИМ ГЕОЛОГІЧНО-ЗМІСТОВНИМ РОЗВ'ЯЗКОМ ОБЕРНЕНОЇ 3D-ЗАДАЧІ БЕЗ РЕГУЛЯРИЗАЦІЇ ДЛЯ ГРАВІМЕТРИЧНИХ, СВЕРДЛОВИННИХ ТА СЕЙСМІЧНИХ ДАНИХ

***Петровський О.**, д. фіз.-мат. н., професор, ORCID ID 0000-0002-7068-7464,*
Oleksandr.Petrovskyy@deproil.com
НТК ДЕПРОІЛ ЛТД, Івано-Франківськ, Україна

Розглянуто інноваційний підхід до картування комерційних покладів вуглеводнів – спільна інверсія гравіметричних, сейсмічних та свердловинних даних без регуляризації зі створенням повнорозмірної 3D моделі реальної густини геологічного середовища, що робить можливим виділення в розрізі локалізованих тіл із породами низької густини, перехід до петрофізичних параметрів розрізу, оцінки ємнісних властивостей порід-колекторів, прогнозних видобувних запасів та початкового дебіту нових свердловин. Дані буріння показали, що комерційний успіх буріння в межах закартованих покладів становить – 86–100%, точність прогнозування пористості та вуглеводненасичення – у 84–95%, видобувних запасів – 86–90%, та прогнозного початкового дебіту нових свердловин – 85–98%.

Ключові слова: інверсія гравіметричних даних без регуляризації, комерційний поклад вуглеводнів, до буріння, визначення пористості, насичення та щільності запасів вуглеводнів, дренованих запасів та початкового дебіту

ACCURATE MAPPING OF COMMERCIAL HYDROCARBON POOLS AND ESTIMATION OF RECOVERABLE RESERVES AND INITIAL PRODUCTION RATES ARE GUARANTEED BY THE REGULARIZATION-FREE GEOLOGICALLY MEANINGFUL SOLUTION OF THE JOINT 3D INVERSE PROBLEM USING GRAVITY, WELL AND SEISMIC DATA

***Petrovsky O.,** Dr. Sci. (Phys.-Math.), Professor,*
ORCID ID 0000-0002-7068-7464, Oleksandr.Petrovskyy@deproil.com
Scientific and Technical Company NTK "DEPROIL LTD", Ivano-Frankivsk, Ukraine

This paper presents an innovative approach to identification of commercial hydrocarbon pools, which is the joint inversion of gravity, seismic and well log data without regularization, resulting creation of a full-scale 3D model of physical density of geological medium, which enables delination of the localized low density bodies with conversion to petrophysical parameters and estimation of reservoir properties, of recoverable reserves, and prediction of initial production rates for new wells. Drilling data confirm the method's success in identification of new hydrocarbon fields in 86–100% of cases, with an accuracy of 84–95% for predicting porosity and hydrocarbon saturation, 86–90% for recoverable reserves, and 85–98% for estimation of initial production rates of new wells.

Keywords: gravity data regularization-free inversion, commercial hydrocarbon pool, prediction of reservoir porosity, saturation and hydrocarbon reserves density, estimation of recoverable reserves and production rates

Вступ. Комерційний поклад вуглеводнів – це замкнута ділянка вуглеводненасичених порід, у яких пористість, насиченість вуглеводнями, видобувні запаси та початковий дебіт одночасно перевищують граничні значення, що робить майбутнє буріння та видобуток комерційно виправданими.

Для надійного прогнозування комерційних покладів вуглеводнів необхідна детальна модель геологічного середовища, що включає як геометрію геологічних границь, так і просторове поширення порід-колекторів. На практиці таку модель можна побудувати на основі геофізичних даних лише шляхом розв'язку оберненої задачі геофізики. Не зважаючи на значний прогрес у геофізичних технологіях, загальна ефективність картування комерційних покладів вуглеводнів залишається посередньою, а темпи відкриття нових великих родовищ за останні десятиліття зросли незначно.

Обернені задачі в геофізиці теоретично є неоднозначними для всіх геофізичних методів, оскільки багато моделей можуть створювати однакові спостережувані поля. Традиційні алгоритми інверсії усувають цю неоднозначність за допомогою регуляризації Тихонова та обмежень на гладкість функцій (Tikhonov & Arsenin, 1977). Застосування регуляризації передбачає, що розв'язок оберненої задачі має бути єдиним, але може бути нестійким. Водночас сама по собі однозначність не гарантує геологічної змістовності. Для гравіметрії підпростір математично однозначних розв'язків оберненої задачі складається з тривимірних гармонічних функцій, екстремуми яких розташовані на контурі моделі. Як наслідок, у тривимірній моделі густини неможливо отримати будь-які замкнуті локалізації, позитивні чи негативні. Іншою проблемою є використання відносних густин, що не дозволяє використовувати ці дані для подальших оцінок петрофізичних властивостей гірських порід. Регуляризований розв'язок є суперпозицією двох компонентів: математично єдиної, але геологічно неінформативної моделі, що відповідає геофізичному полю, та геологічно змістовної початкової моделі, яка не відповідає гравітаційному полю, але слугує стабілізуючим апріорним розподілом. Як наслідок, залежно від параметрів регуляризації, кінцева модель буде або гармонічною функцією, або початковою моделлю, модифікованою гармонічною функцією, що обмежує появу нових замкнутих локалізацій густини (рис. 1).

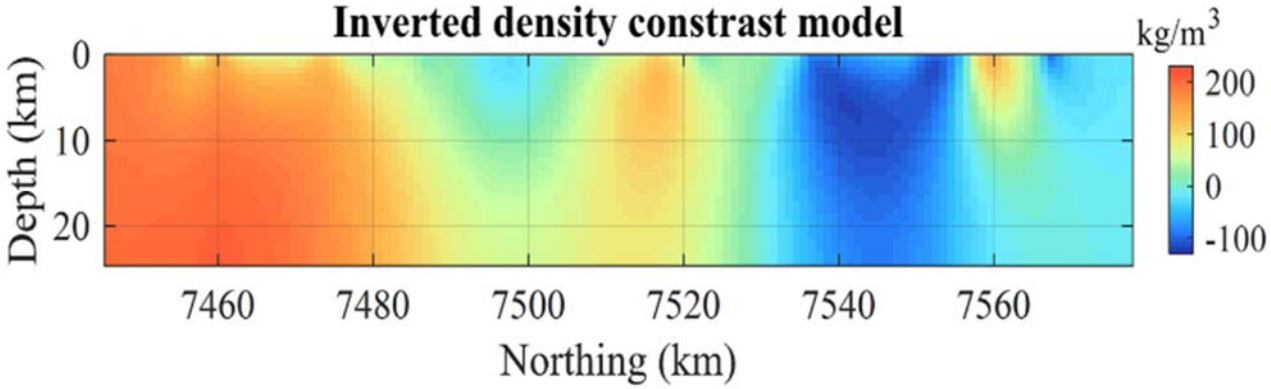


Рис. 1. Гармонічна функція як результат розв'язку оберненої задачі — «Результати окремих розвязків оберненої задачі із використанням обмежень на варіацію та гладкість. Початкові та апріорні моделі є нульовими, а обмеження на гладкість застосовується однорідно» (Giraud, J., 2021)»

У цьому дослідженні представлено алгоритм картування комерційних покладів вуглеводнів та оцінки їхніх загальних запасів, видобувних запасів і очікуваних початкових дебітів нових свердловин. Він ґрунтується на геологічно змістовній 3D-інверсії даних гравіметрії, каротажу свердловин, сейсмічних даних та інших геологічних і геофізичних даних без застосування регуляризації в межах геологічно змістовного підпростору моделей густини.

Основні теоретичні та технологічні особливості запропонованого підходу. Підпростір, в якому вирішується обернена задача, представляє собою сукупність усіх можливих геологічних моделей, що представлені структурними геологічними границями, стратиграфічною та літологічною послідовностями подій, які відбулися під час формування геологічних пластів, а також геологічним та літологічним обмеженнями щодо змін як геометричних, так і фізичних параметрів пластів моделі.

У межах цього геологічно змістовного підпростору кожне можливе гравітаційне поле відповідає єдиній можливій геологічно змістовній 3D моделі густини, що встановлює відношення «один до одного» між спостережуваним полем та геологічною моделлю (Li & Oldenburg, 1998).

Щоб забезпечити отримання стабільного розв'язку оберненої задачі в будь-якій точці контуру та на будь-якій глибині області надійних геологічних побудов, необхідно збільшити розмір контуру інтерпретації до значення, що дорівнює максимальній глибині.

У цьому випадку щонайменше 90 % енергії гравітаційного сигналу з будь-якої точки в межах зони надійних геологічних побудов буде включено до 3D-моделі. Для включення 96% або 99% енергії розмір контуру повинен у 1,5 або 2,0 рази перевищувати максимальну глибину.

Горизонтальний розмір елементарної комірки в моделі визначається горизонтальною дискретизацією гравітаційного поля. Вертикальний розмір комірки вибирається відповідно до мінімальної товщини пластів-колекторів таким чином, щоб принаймні одна комірка знаходилася в найтоншій частині пласта. За наявності даних із свердловин вертикальний розмір комірки може бути зменшений до 1 м. При виборі мінімального розміру комірки необхідно враховувати обсяг пам’яті комп’ютера, необхідний для зберігання даних, та час, необхідний для розрахунків.

Виходячи із відомої точності гравітаційних вимірювань та аналітичної залежності між масою точкового джерела, амплітудою аномалії та глибиною, з урахуванням контрасту густин між пластовим флюїдом та густиною скелету гірських порід, ми оцінили мінімальні запаси вуглеводнів, які можна достовірно визначити за допомогою розв'язку оберненої задачі гравіметрії. Контраст густини між покладом вуглеводнів та вміщуючою гірською породою є від’ємним, змінюється в залежності від типу флюїду та глибини і, зазвичай, змінюється у межах приблизно від −2,0 до −1,9 г/см³ для газових покладів та від −1,85 до −1,70 г/см³ для конденсатних і нафтових покладів. Для водонасичених колекторів аномалія становить приблизно від −1,55 до −1,45 г/см³. Як зазначалось, колектори, насичені вуглеводнями, характеризуються більшими величинами аномалій густини, ніж водонасичені. Ця систематична різниця у величині контрасту густин є фізичною основою для розрізнення водонасичених колекторів від колекторів, насичених вуглеводнями, у рамках 3D-моделі густини, отриманої в результаті розв’язку оберненої задачі гравірозвідки. За мінімальної аномалії гравітаційного поля, що може бути виміряна, приблизно у 6,4 мкГал та зазначених аномалій густин вуглеводненасичених порід, відповідні обсяги запасів, що можуть бути закартовані, збільшуються з глибиною від ~0,1 млрд куб. м газу та ~0,1 млн т нафти на глибині близько 1 км до 5 млрд куб. м та 9–10 млн т відповідно на глибині 7 км. Ці значення відповідають комерційно привабливим обсягам запасів для майбутнього комерційно виправданого буріння та видобутку.

Технологія розв’язку оберненої задачі гравіметрії, що пропонується в даному дослідженні, передбачає розв’язок двох взаємопов’язаних обернених задач (Кобрунов і Петровський, 1990; Петровський, 2004): нелінійної структурної оберненої задачі для оцінки геометрії геологічних границь з урахуванням повністю неоднорідного розподілу густини гірських порід у геологічному середовищі; а також лінійної оберненої задачі для оцінки 3D неоднорідного розподілу густини в межах всіх пластів геологічної моделі. Схема ітеративного розв’язку оберненої задачі гравіметрії та схема спільної інверсії реалізовані відповідно до принципів, описаних у попередніх роботах (Кобрунов і Петровський, 1990; Петровський, 2003).

Для кожного параметру початкової моделі — глибини геологічних границь та густинних властивостей — визначається ймовірнісна похибка їх визначення. Для кожної властивості задаються обмеження. Крім того, густина за даними каротажу свердловин безпосередньо враховується в процесі спільної інверсії гравіметричних даних (Петровський, 2004). У процесі інверсії безпосередньо використовуються реальні значення густини гірських порід без нормалізованих або псевдогустинних значень.

Для практичної реалізації геологічно змістовного розв'язку оберненої задачі у 1D, 2D, 3D та 4D було розроблено багатопроцесорну, багатомашинну технологію під назвою GCIS (Geophysical Complex Interpretation System) (Петровський та ін., 2003). Цей програмний комплекс дозволяє виконувати побудову та візуалізацію високоточної геологічно-змістовної структурної моделі та моделі розподілу густинних властивостей, а також розв’язувати пряму та спільну обернену задачу гравітаційних, сейсмічних, свердловинних

та інших геологічно-геофізичних даних з метою картування комерційних покладів вуглеводнів.

3D-форма покладу визначається як максимальний замкнутий контур локальної області низької густини. У межах покладу густина гірських порід завжди є нижчою за граничну густину. Найнижча густина гірських порід у покладі безпосередньо пов'язана з найвищими значеннями пористості, насичення, видобувних запасів та початкового дебіту.

Приклад такого інтегрованого підходу до визначення геометрії соляного діапіру та комерційного покладу поблизу соляного діапіру було продемонстровано в нещодавніх дослідженнях (Петровський та ін., 2025).

Ефективність запропонованого методу, оцінена на основі результатів буріння. Фактичний коефіцієнт успішності комерційного буріння, який, зазвичай, називають «ймовірністю успіху» (PoS), визначається як частка відкритих родовищ у загальній кількості пробурених свердловин (Milkov, 2021). Статистичний аналіз пошукового буріння за останні приблизно три десятиліття свідчить, що глобальний коефіцієнт комерційного успіху для пошукових свердловин, зазвичай, коливається в межах від 45 % до 65 %, а середній показник становить приблизно 52 % (Milkov, 2021). Важливо, що ці дослідження також показують, що коефіцієнт комерційного успіху за останні тридцять років практично не змінився, незважаючи на технологічний прогрес. Фактичний показник комерційного успіху свердловин, пробурених на основі 2D-сейсморозвідки, становить приблизно 28–29 %, збільшуючись до близько 39–40 % для 3D-сейсморозвідки, та досягає приблизно 54–55 % для випадків застосовання прямих індикаторів вуглеводнів (DHI) за даними інтерпретації 3D-сейсморозвідувальних даних (Rudolph & Goulding, 2017). Згідно доповіді Westwood Energy Group на конференції EAGE 2026 в Абердині, коефіцієнт успішності пошукового буріння ключових свердловин у світі у 2026 році склав лише 31 % (рис. 2).

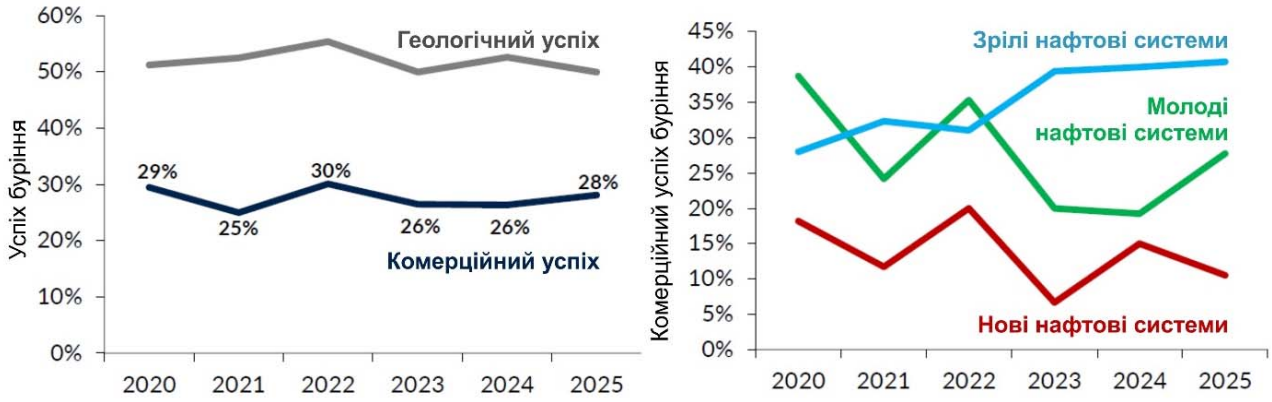
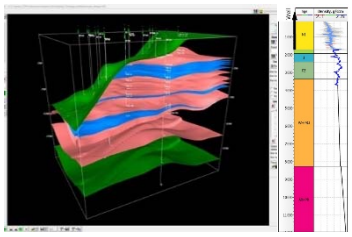
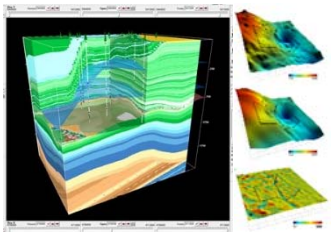


Рис. 2. Середній комерційний успіх пошукового буріння провідних нафтових компаній світу із застосуванням діючої пошукової парадигми картування сейсмічних об'єктів та для нафтових систем різної зрілості відкриття Нові > 0%, Молоді < 50%, Зрілі > 90% у 2020–2025 рр. (J. Collard, 2026).

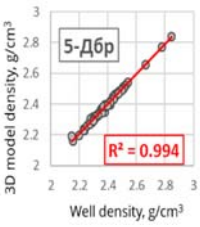
Практичне застосування описаного підходу дозволило відкрити низку нових родовищ вуглеводнів, уточнити контури відомих покладів та відкрити нові поклади в межах відомих родовищ (рис. 3, 4). Крім того, у зрілому Дніпровсько-Донецькому нафтогазоносному басейні були закартовані переміщені блоки перекриття соляних діапірів із покладами із запасами 59.3 млрд м^3 газу (Петровська та ін., 2021).



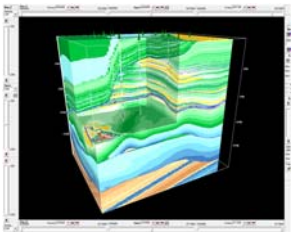
а) Структ. модель б) Свердловина



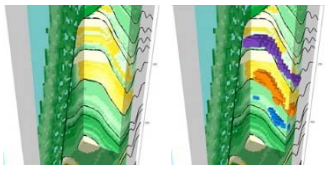
в) Поч. модель г) Грав. поле



д) Якість по св.



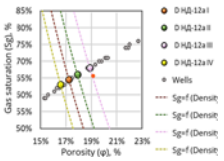
е) Кінцева інвертована модель



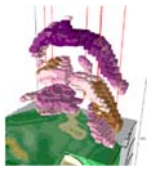
є) Густина ж) Гранична густина з) Форма покладу



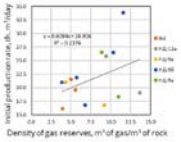
и) Поклади



і) Порист. і насич.

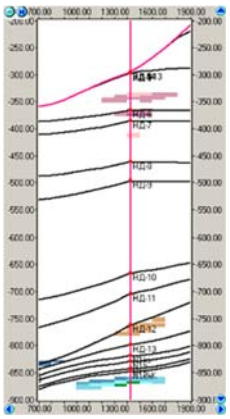


к) Щільність запасів



л) Дебіт

Commercial pool	Area, km²	Aver. gas saturated thickness, m	Porosity, %	HC saturation, %	Initial formation pressure, Mpa	Calculated recoverable reserves, M.m³	Recoverable reserves in 3D model, M.m³	Initial production rate, thou. m³/day
D K2-I	0.59	3.44	19.3	69.1	11.1	142.0	38.0	25.2
Drilled well			**19.8–23.3**	**70-79**				**25.0**
Relative error, %			10.4%	7.2%				0.8%

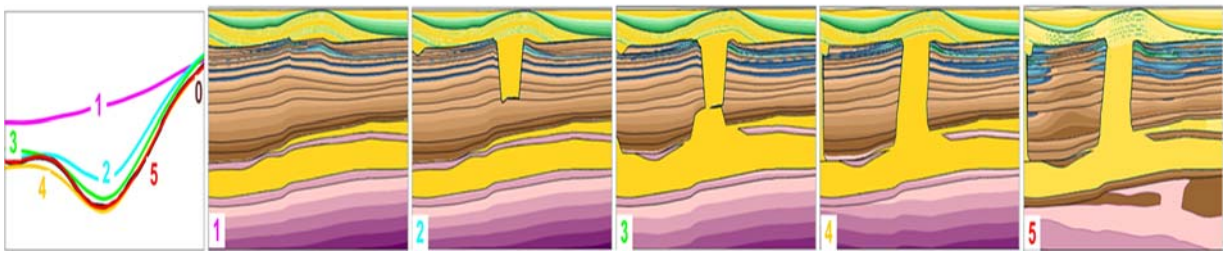


м)

Product. horizon	Recoverable reserves, M.m³	Prod. rate predict thou. m³/day	Actual saturation ------- Prod. rate
N_1k+K	28.4	25.2	**25.0**
НД-12	50.4	23.2	-
НД-9	Dry	Dry	**Dry (LOG)**
НД-7	Dry	Dry	**Dry (LOG)**
НД-6	5.6	20.3	**Gas (LOG)**
НД-5	1.9	20.5	**Gas (LOG)**

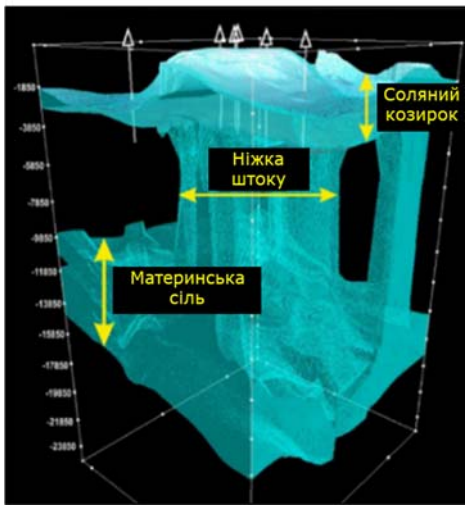
н)

Рис. 3. Приклад картування комерційних покладів із використанням геологічно зміс-товної 3D-інверсії гравіметричних даних (а–е), контури покладів (є–и), оцінка пористості та насичення (і), щільність запасів (к) та почат-ковий дебіт (л). Порівняння прогнозованих властивостей покладів із результатами буріння свердловин: ймовірність успіху для пористості — 90 %, насичення — 93 %, дебіту — 99 %, форми та глибини трьох комерційних покладів і двох ущільнених пластів (м–н) — 100 %.

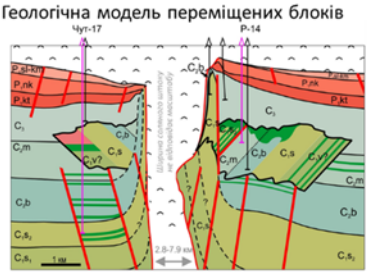


0 – спостережене поле;
1 – початкова геогустинна модель;
2, 3, 4 – визначення форми соляного штоку та густини осадових порід;
5 – визначення властивостей осадових порід та фундаменту – кінцева модель

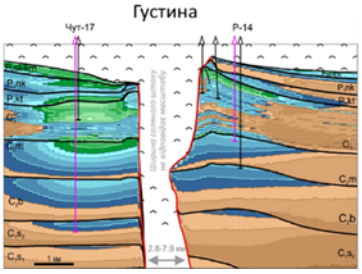
3D модель форми солі



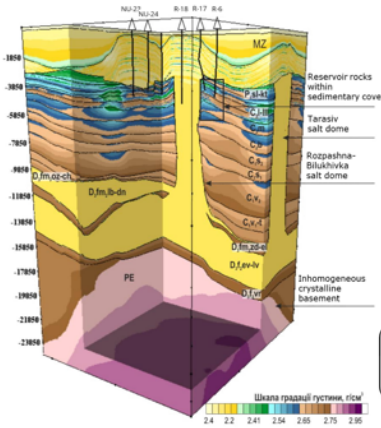
Геологічна модель переміщених блоків



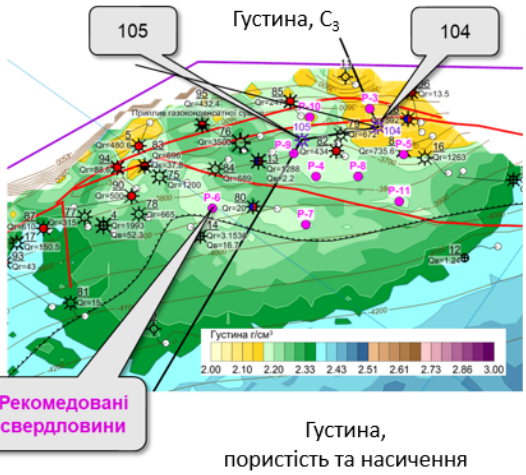
Густина



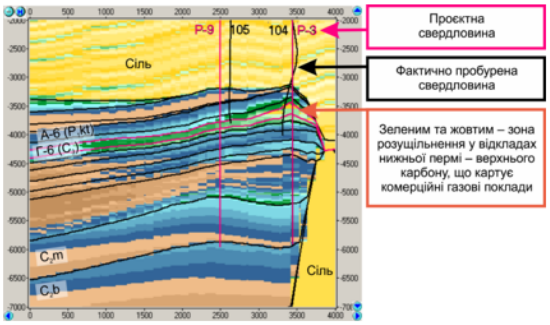
3D густина



Густина, C_3



Густина через св. 105 та 104

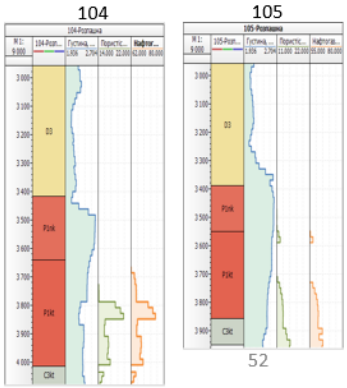


Проєктна свердловина

Фактично пробурена свердловина

Зеленим та жовтим – зона розущільнення у відкладах нижньої пермі – верхнього карбону, що картує комерційні газові поклади

Густина, пористість та насичення



52

Рис. 4. Приклад уточнення контуру газоносності родовища на завершальній стадії розробки

3D модель густини створена у 2019 році. У 2022–2023 рр. у відповідності до рекомендацій пробурено дві експлуатаційні свердловини: 104 та 105 на відстані близько 100 м від проєктних свердловин Р-3 та Р-9. Похибка 3D моделі за даними буріння нових свердловин: визначення глибини підошви соляного козирку – ±60–80 м на глибині −3250 м (відносна похибка 2.5%); пористість 19% (відносна похибка 2-3%); насичення 85% (відносна похибка 9-10%). У нових свердловинах дебіти склали: св. 104 – 64 тис м^3/день; св. 105 – 63 тис. м^3/день. Комерційний успіх експлуатаційного буріння в межах покладу: 100%.

Сумісний розв'язок нелінійної структурної оберненої задачі та лінійної оберненої густинної задачі з обмеженнями в межах геологічно змістовного підпростору розв'язків дозволяє здійснювати стійке моделювання густини гірських порід та надійне картування комерційних покладів.

Ми провели статистичний аналіз 176 випробувань у 84 свердловинах, пробурених протягом 20 років практичного застосування технології у трьох нафтогазовидобувних регіонах України. Для свердловин, пробурених у межах раніше закартованих комерційних покладів, коефіцієнт кореляції між змодельованою та виміряною густиною коливається в межах 68 % – 84 %. Коефіцієнт успішності виявлення комерційних покладів становить від 86 % до 100 %, успішності багатопластових випробувань свердловин — від 79 % до 100 %. Точність прогнозування пористості та вуглеводненасичення становить від 84 % до 95 %, видобувних запасів — від 86 % до 90 %, а прогнозного початкового дебіту нових свердловин — від 85 % до 98 %. Натомість, для свердловин, пробурених за межами закартованих комерційних покладів, показник успішності виявлення комерційних покладів становив 36 %, а для випробувань свердловин, проведених за межами закартованих покладів, — лише 16 %.

Висновки. Геологічно змістовна 3D-інверсія гравітаційних даних без регуляризації забезпечує практичну основу для кількісної оцінки перспективних об'єктів, виходячи за межі традиційної якісної інтерпретації гравітаційних даних.

З економічної точки зору та з позиції прийняття рішень запропонований геологічно змістовний метод розв'язку 3D оберненої задачі гравіметрії без регуляризації може бути ефективно інтегрований у широкий спектр задач разом із застосуванням даних сейсморозвідки як незалежний кількісний метод з метою обмеження можливих структурних моделей, визначення розподілу вуглеводненасичених порід та для кількісних оцінок запасів вуглеводнів, тим самим зменшуючи геологічну невизначеність при ранжуванні перспективних ділянок та прийнятті рішень щодо розміщення свердловин.

Подяки. Автори висловлюють подяку колегам та партнерам за надання геологічних, геофізичних та свердловинних даних, а також за їхній внесок у дослідження в напрямку геологічно-змістовної комплексної інтерпретації гравіметричних даних без регуляризації.

Список використаних джерел:

Collard, J., 2026. The State of Exploration in 2026. 87th EAGE Annual Conference & Exhibition, Aberdeen, Scotland. https://doi.org/10.3997/2214-4609.202610860

Giraud, J., Ogarko, V., Martin, R., Jessell, M., & Lindsay, M., 2021. Structural, petrophysical, and geological constraints in potential field inversion using the Tomofast-x version 1.0 open-source code. Geoscientific Model Development 14(11), 6681–6709. https://doi.org/10.5194/gmd-14-6681-2021

Кобрунов, О.І., та Петровський, О.П., 1990. Ітераційна схема інверсії гравіметричних даних. Доповіді Української академії наук (2), 13–16. (Російською).

Li, Y., & Oldenburg, D.W., 1998. 3D inversion of gravity data. Geophysics 63(1), 109–119.

Milkov, A.V., 2021. Reporting the expected exploration outcome: When, why and how the probability of geological success and success-case volumes for the well differ from those for the prospect. Journal of Petroleum Science and Engineering 204, 108754.

Петровський, О. П., Кобрунов, О. І., Ганженко, Н. С., Суятінов, В. М., 2003. Автоматизована система кількісної комплексної інтерпретації геофізичних даних GCIS як

основа технології інтегральної інтерпретації комплексу геолого–геофізичної інформації для пошуків нафти і газу. Геоінформатика (2), 25–34.

Петровський, О.П., 2004. Інформаційне забезпечення та модельні уявлення інтегральної інтерпретації геолого–геофізичних даних при вивченні нафтогазоносних структур. Геофізичний журнал, 26(3), 77–86. (Російською).

Petrovskyy, O.P., Petrovska, T.O., Onischuk, O.M., Suyatinov, V.M., & Chepil, P.M., 2025. The accurate shape of salt diapir and near-salt commercial hydrocarbon pools: outcome of applying a 3D joint gravity, well-log, seismic inversion, and new paradigm for pool mapping. Geofizychnyi Zhurnal 47(2), 129–136. https://doi.org/10.24028/gj.v47i2.322582

Rudolph, K.W., & Goulding, F.J., 2017. Benchmarking Exploration Predictions and Performance Using 20+ Years of Drilling Results: One Company's Experience. AAPG Bulletin 101(2), 161–176. doi:10.1306/06281616060

Tikhonov, A.N., & Arsenin, V.Y., 1977. Solutions of Ill-Posed Problems. Winston & Sons.

Petrovska, T.O., Petrovskyy, O.P., Tsihovska, O.M., & Trachuk, A.Yu., 2021. Carapaces of the Dnieper-Donets Basin as a New Exploration Target. SPE Eastern Europe Subsurface Conference, Kyiv, Ukraine. https://doi.org/10.2118/208538-MS

References

Collard, J. (2026). The State of Exploration in 2026. 87th EAGE Annual Conference & Exhibition, Jun 2026, Aberdeen, Scotland. https://doi.org/10.3997/2214-4609.202610860

Giraud, J., Ogarko, V., Martin, R., Jessell, M., & Lindsay, M. (2021). Structural, petrophysical, and geological constraints in potential field inversion using the Tomofast-x version 1.0 open-source code. Geoscientific Model Development, 14(11), 6681–6709. https://doi.org/10.5194/gmd-14-6681-2021

Kobrunov, O.I., and Petrovskyy, O.P. (1990). An iterative scheme for the inversion of gravimetric data. Proceedings of the Ukrainian Academy of Sciences (2), 13–16. [In Russian].

Li, Y., & Oldenburg, D.W. (1998). 3D inversion of gravity data. Geophysics 63(1), 109–119. http://dx.doi.org/10.1190/1.1444302

Milkov, A.V. (2021). Reporting the expected exploration outcome: When, why and how the probability of geological success and success-case volumes for the well differ from those for the prospect. Journal of Petroleum Science and Engineering 204, 108754. doi: 10.1016/j.petrol.2021.108754.
https://www.researchgate.net/publication/350605442_Reporting_the_expected_exploration_outcome_When_why_and_how_the_probability_of_geological_success_and_success-case_volumes_for_the_well_differ_from_those_for_the_prospect#fullTextFileContent.

Petrovska, T.O., Petrovskyy, O.P., Tsihovska, O.M., & Trachuk, A.Yu. (2021). Carapaces of the Dnieper-Donets Basin as a New Exploration Target. SPE Eastern Europe Subsurface Conference, November 2021, Kyiv, Ukraine. https://doi.org/10.2118/208538-MS. https://onepetro.org/speeesc/proceedings-abstract/21EESC/21EESC/472428

Petrovsky, O. P., Kobrunov, O. I., Ganzhenko, N. S., and Suatinov, V. M. (2003). The GCIS automated system for quantitative integrated interpretation of geophysical data as the basis for the technology of integrated interpretation of geological and geophysical information for oil and gas exploration. Geoinformatics, (2), 25–34. [In Ukrainian]

Petrovsky, O.P. (2004). Informational support and model concepts for the integrated interpretation of geological and geophysical data in the study of oil and gas-bearing structures. Geophysical Journal, 26(3), 77–86. [In Russian]

Petrovskyy, O.P., Petrovska, T.O., Onischuk, O.M., Suyatinov, V.M., & Chepil, P.M. (2025). The accurate shape of salt diapir and near-salt commercial hydrocarbon pools: outcome of applying a 3D joint gravity, well-log, seismic inversion, and new paradigm for pool mapping. Geofizychnyi Zhurnal, 47(2), 129–136. https://doi.org/10.24028/gj.v47i2.322582. https://journals.uran.ua/geofizicheskiy/article/view/322582/315967

Rudolph, K.W., & Goulding, F.J. (2017). Benchmarking Exploration Predictions and Performance Using 20+ Years of Drilling Results: One Company's Experience. AAPG Bulletin 101(2), 161–176. doi:10.1306/06281616060. https://www.researchgate.net/publication/305992674_Benchmarking_Exploration_Predictions_and_Performance_Using_20_Years_of_Drilling_Results_One_Company's_Experience#fullTextFileContent

Tikhonov, A.N., & Arsenin, V.Y. (1977). Solutions of Ill-Posed Problems. Winston & Sons.

УДК 622.248

ОСОБЛИВОСТІ ХВИЛЬОВОЇ ПЕРЕДАЧІ УДАРНОГО ІМПУЛЬСУ БУРИЛЬНОЮ КОЛОНОЮ В ГОРИЗОНТАЛЬНІЙ СВЕРДЛОВИНІ

Рибачук С.А., *ORCID ID 0009-0001-8177-204X, serhii.rybachuk@ukrnafta.com;*
АТ "УКРНАФТА", м. Київ, Україна

Розглянуто проблему передачі ударного імпульсу від бурильного яса до зони прихоплення бурильної колони в горизонтальній свердловині. Обґрунтовано доцільність розгляду процесу як поширення короткочасного динамічного збурення вздовж бурильної колони у вигляді пружної хвилі. Показано, що на характер передачі імпульсу впливають не лише параметри бурильного яса, а й умови поширення збурення вздовж просторово деформованої бурильної колони, зокрема її взаємодія зі стінкою свердловини. Сформульовано наукову постановку задачі розвитку базового хвильового підходу для аналітичного опису передачі ударного імпульсу до зони прихоплення. Запропонований підхід є основою для подальшого визначення впливу просторових умов роботи бурильної колони на ефективність передачі ударного впливу.

Ключові слова: бурильний яс, прихоплення бурильного інструмента, ударний імпульс, пружна хвиля, бурильна колона, горизонтальна свердловина.

WAVE TRANSMISSION FEATURES OF AN IMPACT PULSE ALONG A DRILL STRING IN A HORIZONTAL WELL

Rybachuk S.*, ORCID ID 0009-0001-8177-204X, serhii.rybachuk@ukrnafta.com;*
JSC "UKRNAFTA", Kyiv, Ukraine

The paper considers the problem of transmitting an impact pulse generated by a drilling jar to the stuck zone of a drill string in a horizontal well. The process is substantiated as the propagation of a short-duration dynamic disturbance along the drill string in the form of an elastic wave. It is shown that the transmission of the impact pulse is determined not only by the parameters of the drilling jar but also by the propagation conditions along the spatially deformed drill string, including its interaction with the wellbore wall. A scientific problem is formulated concerning the development of a basic wave-based approach for the analytical description of impact pulse transmission to the stuck zone. The proposed approach provides a basis for further determining the influence of spatial operating conditions of the drill string on the efficiency of impact transmission.

Keywords: drilling jar, stuck pipe, impact pulse, elastic wave, drill string, horizontal well.

Вступ. Застосування горизонтального буріння розширює можливості розкриття продуктивних інтервалів, однак супроводжується ускладненням умов роботи бурильної колони та підвищенням імовірності виникнення прихоплень бурильного інструмента. На відміну від вертикальних свердловин, у горизонтальній частині стовбура бурильна колона перебуває в умовах просторової деформації та контакту зі стінкою свердловини, що змінює характер її механічної взаємодії. Водночас бурильну колону можна розглядати як пружну протяжну систему, в якій поширюються поздовжні та інші види динамічних збурень (Огороднiков та ін., 2010).

Для ліквідації прихоплень застосовують бурильні яси, під час спрацювання яких у бурильній колоні формується короткочасний ударний вплив. Ефективність такого впливу визначається не лише параметрами яса та енергією, що вивільняється під час його спрацювання, а й умовами її подальшого поширення до зони прихоплення. Дослідження механізму роботи бурильних ясів та динаміки формування ударного навантаження свідчать про важливість урахування процесів передачі ударної енергії вздовж бурильної колони (Chen & Gao, 2018; Küçük & Teodoriu, 2019).

На відміну від статичного осьового навантаження, сформований ясом ударний вплив має імпульсний характер і поширюється вздовж колони як динамічне збурення. Для поздовжньої динаміки стрижневих систем базовим механізмом такого процесу є поширення пружної хвилі. Теоретичні дослідження поздовжніх коливань і хвильових процесів у бурильній колоні створюють основу для застосування хвильового підходу до опису передачі короткочасних імпульсів (Lee, 1991; Огороднiков та ін., 2010).

Методи та моделювання. У найпростішому наближенні бурильну колону можна представити як пружну протяжну систему, у якій порушення рівноваги, створене в певному перерізі, поширюється вздовж її осі. Такий підхід дає змогу описувати зміну поздовжніх переміщень і напружень у часі та вздовж координати колони. При цьому спрацювання бурильного яса розглядається як початкове динамічне збурення, а його подальше

поширення – як хвильовий процес, параметри якого залежать від властивостей і умов роботи бурильної колони.

У найпростішому наближенні поздовжній рух ділянки бурильної колони може бути описаний хвильовим рівнянням:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$$

де *u(x,t)* – поздовжнє переміщення, *x* – координата вздовж бурильної колони, *t* – час, *c* – швидкість поширення поздовжньої пружної хвилі (Lee, 1991; Tian et al., 2016).

Таке рівняння є вихідною математичною моделлю поширення короткочасного динамічного збурення вздовж пружної протяжної системи. У межах цього представлення спрацювання бурильного яса розглядається як джерело початкового збурення, а його подальше поширення – як процес зміни поздовжніх переміщень і напружень уздовж бурильної колони. Такий підхід узгоджується з результатами досліджень динаміки бурильних ясів, у яких передача сформованого ударного впливу розглядається як важлива складова ефективності ударної системи (Chen & Gao, 2018; Küçük & Teodoriu, 2019).

Результати та обговорення. Для горизонтальної свердловини такого ідеалізованого представлення недостатньо. Реальна колона змінює просторову конфігурацію відповідно до траєкторії стовбура та на окремих ділянках контактує зі стінкою свердловини. Відповідно, контактні взаємодії та сили тертя створюють додаткові умови для її руху й поширення динамічного збурення. Моделі динаміки бурильної колони для довільної геометрії свердловини підтверджують необхідність урахування просторової конфігурації, контакту зі стінкою та тертя під час опису її механічної поведінки (Goicoechea et al., 2019).

Для реальної бурильної колони в горизонтальній свердловині наведена модель є лише базовим наближенням. Її застосування не враховує просторової конфігурації колони, контакту зі стінкою свердловини та пов'язаних із ним сил тертя. Дослідження динаміки бурильної колони для довільної геометрії свердловини підтверджують необхідність урахування контактної взаємодії та тертя, тоді як результати досліджень динамічних характеристик колони у протяжних свердловинах свідчать про залежність її коливального стану від умов просторового розташування та роботи (Shen et al., 2021). Тому під час подальшого розвитку моделі зазначені чинники необхідно врахувати як такі, що впливають на умови поширення динамічного збурення.

У зв'язку з цим особливого значення набуває координата встановлення бурильного яса. Її зміна визначає початкове положення джерела ударного збурення та довжину ділянки бурильної колони, яку має пройти хвиля до зони прихоплення. Отже, положення яса може впливати на параметри ударного імпульсу, що досягає прихопленої ділянки, через зміну умов його поширення вздовж колони.

Таким чином, для аналітичного опису процесу доцільно розглядати взаємопов'язану систему «бурильний яс – бурильна колона – зона прихоплення», у якій спрацювання яса є джерелом короткочасного динамічного збурення, а бурильна колона – середовищем його поширення. Базовим фізичним механізмом такого процесу приймається поширення поздовжньої пружної хвилі, тоді як просторову конфігурацію колони, її деформацію, контакт зі стінкою свердловини та тертя доцільно враховувати як чинники, що визначають умови проходження ударного імпульсу до зони прихоплення.

Отже, виникає задача розвитку базового хвильового представлення з урахуванням просторових умов роботи бурильної колони в горизонтальній свердловині. Такий підхід створює основу для подальшого встановлення аналітичної залежності між положенням бурильного яса та параметрами ударного імпульсу в зоні прихоплення. Зміна координати встановлення яса змінює довжину ділянки колони між джерелом збурення та зоною прихоплення. Відповідно, положення яса має бути включене до математичного опису як параметр, від якого залежать умови поширення ударного імпульсу та його параметри в зоні прихоплення. Наведене хвильове рівняння доцільно використовувати як вихідну модель для подальшого аналітичного розвитку.

Висновки. Обґрунтовано застосування хвильового підходу для аналітичного опису передачі короткочасного ударного впливу від бурильного яса до зони прихоплення в

горизонтальній свердловині. Визначено базове хвильове рівняння як вихідну математичною модель поширення поздовжнього динамічного збурення вздовж бурильної колони. Показано, що параметри яса формують початкові умови процесу, а характеристики бурильної колони визначають умови подальшого поширення збурення.

Встановлено, що для адаптації базової моделі до умов горизонтальної свердловини необхідно врахувати просторову конфігурацію бурильної колони, її деформацію та взаємодію зі стінкою свердловини. Обґрунтовано включення координати встановлення бурильного яса до параметрів подальшої аналітичної моделі. Її зміна визначає довжину ділянки поширення ударного збурення до зони прихоплення та створює основу для встановлення залежності параметрів ударного імпульсу в зоні прихоплення від положення яса.

Список використаних джерел:

Огороднiков П. І., Світлицький В. М., Малярчук Б. М. Хвильові процеси у бурильній колоні як гнучкій системі // *Нафтова і газова промисловість*. 2010. № 3. С. 16–19.

Chen D. C. K., Gao D. L. Study on impact dynamics of hydraulic drilling jar and energy transfer characteristics // *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 2018. Vol. 170. P. 102–112. DOI: 10.1016/j.petrol.2018.06.012.

Goicoechea H. E., Buezas F. S., Rosales M. B. A non-linear Cosserat rod model for drill-string dynamics in arbitrary borehole geometries with contact and friction // *International Journal of Mechanical Sciences*. 2019. Vol. 157–158. P. 98–110. DOI: 10.1016/j.ijmecsci.2019.04.023.

Küçük M., Teodoriu C. A review of the drilling jar mechanism and impact force generation in stuck pipe recovery operations // *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 2019. Vol. 178. P. 1010–1020. DOI: 10.1016/j.petrol.2019.04.017.

Lee H. Y. Drillstring axial vibration and wave propagation in boreholes: PhD Thesis. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology, 1991.

Shen Y. Y., Zhu K. L., Zhou Y., Sun W. L. Study on dynamic vibration characteristics of drill string in extended reach well // International Field Exploration and Development Conference. Singapore: Springer, 2021. DOI: 10.1007/978-981-16-0761-5_32.

Tian J., Wu C., Yang L. et al. Mathematical modeling and analysis of drill string longitudinal vibration with lateral inertia effect // Shock and Vibration. 2016. Article 6281264. DOI: 10.1155/2016/6281264.

References

Chen, D. C. K., & Gao, D. L. (2018). Study on impact dynamics of hydraulic drilling jar and energy transfer characteristics. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 170, 102–112. DOI: 10.1016/j.petrol.2018.06.012.

Goicoechea, H. E., Buezas, F. S., & Rosales, M. B. (2019). A non-linear Cosserat rod model for drill-string dynamics in arbitrary borehole geometries with contact and friction. *International Journal of Mechanical Sciences*, 157–158, 98–110. DOI: 10.1016/j.ijmecsci.2019.04.023.

Küçük, M., & Teodoriu, C. (2019). A review of the drilling jar mechanism and impact force generation in stuck pipe recovery operations. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 178, 1010–1020. DOI: 10.1016/j.petrol.2019.04.017.

Lee, H. Y. (1991). Drillstring axial vibration and wave propagation in boreholes [PhD Thesis]. Massachusetts Institute of Technology.

Ohorodnikov, P. I., Svitlytskyi, V. M., & Maliarchuk, B. M. (2010). Wave processes in the drill string as a flexible system. Oil and Gas Industry, (3), 16–19 [in Ukrainian].

Shen, Y. Y., Zhu, K. L., Zhou, Y., & Sun, W. L. (2021). Study on dynamic vibration characteristics of drill string in extended reach well. International Field Exploration and Development Conference. Springer. DOI: 10.1007/978-981-16-0761-5_32.

Tian, J., Wu C., & Yang L. (2016). Mathematical modeling and analysis of drill string longitudinal vibration with lateral inertia effect. Shock and Vibration, 2016, Article 6281264. DOI: 10.1155/2016/6281264.

УДК 553.04

ОСОБЛИВОСТІ ПІДРАХУНКУ ЗАПАСІВ ГАЗОВИХ РОДОВИЩ З НИЖНЬОПЕРМСЬКО-ВЕРХНЬОКАМЯНОВУГІЛЬНИМ ПОВЕРХОМ ГАЗОНОСНОСТІ, ЯКІ ТРИВАЛИЙ ЧАС ПЕРЕБУВАЮТЬ У РОЗРОБЦІ

Сурков С.В.[1]*, surkov.sergiy@ugv.com.ua;* ***Костів А.Л.***[1]*, kostiv.andrey@ugv.com.ua;*
Матвєєв В.А.[1]*, matvieiev.vadym@ugv.com.ua;*
Кривуля С.В.[2]*, канд. геол. наук, serhii.kryvulia@ugv.com.ua;*
Пуц Д.В.[2]*, denys.puts@ugv.com.ua;*
Разінькова Н.В.[2]*, nina.razinkova@ugv.com.ua;*
Федченко А.В.[3]*, anatolii.fedchenko@ugv.com.ua,*
1 – АТ «Укргазвидобування» філія Український науково-дослідний інститут природних газів, м. Харків, Україна,
2 – АТ «Укргазвидобування» філія ГПУ «Шебелинкагазвидобування», с-ще Донець, Харківська обл., Україна;
3 – АТ «Укргазвидобування» філія ГПУ «Полтавагазвидобування», м.Полтава, Україна

Розглянуто проблеми підрахунку запасів газових родовищ, що тривалий час перебувають у розробці. На прикладі родовища Дніпровсько-Донецької западини показано невідповідність між фактичним видобутком і розрахунковими запасами, зумовлену обмеженнями геофізичних методів та складною геометрією покладів. Виявлено, що традиційні методики не враховують тонкошаруваті та щільні ділянки пластів, які реально працюють газом. Запропоновано підходи до корекції меж колекторів, перегляду геометрії покладів та використання сучасних технологій моделювання для уточнення оцінки запасів.

Ключові слова: газоконденсатне родовище, Дніпровсько-Донецька западина, геолого-економічна оцінка, підрахунок запасів, картамиська світа, геофізичні дослідження свердловин.

SPECIFIC FEATURES OF RESERVE ESTIMATION FOR GAS FIELDS OF THE LOWER PERMIAN–UPPER CARBONIFEROUS GAS-BEARING COMPLEX UNDER LONG-TERM DEVELOPMENT

Surkov S.[1]*, surkov.sergiy@ugv.com.ua;* ***Kostiv A.***[1]*, kostiv.andrey@ugv.com.ua;*
Matvieiev V.[1]*, matvieiev.vadim@ugv.com.ua;*
Kryvulia S.[2]*, Ph.D. (Geol.), serhii.kryvulia@ugv.com.ua;*
Puts D.[2]*, denys.puts@ugv.com.ua;*
Razinkova N.[2]*, nina.razinkova@ugv.com.ua;*
Fedchenko A.[3]*, anatolii.fedchenko@ugv.com.ua,*
1 – Joint stock company «Ukrgasvydobuvannya» affiliate Ukrainian Research Institute of Natural Gases, Kharkiv, Ukraine,
2 – Joint stock company «Ukrgasvydobuvannya» affiliate GPD «Shebelynkagasvydobuvannya», settlement Donets, Kharkiv oblast, Ukraine,
3 – Joint stock company «Ukrgasvydobuvannya» affiliate GPD «Poltavagasvydobuvannya», Poltava, Ukraine

The paper addresses the challenges of reserve estimation in long-term developed gas fields. Using an example from the Dnieper-Donets Basin, it highlights the discrepancy between actual production and calculated reserves, caused by limitations of geophysical methods and complex reservoir geometry. It is shown that conventional approaches often fail to account for thin-bedded and dense reservoir intervals that continue to produce gas. The study proposes adjustments to reservoir boundaries, revision of deposit geometry, and the use of modern modeling technologies to improve reserve evaluation accuracy.

Keywords: gas-condensate field; Dnipro-Donets Depression; geological and economic assessment; reserves estimation; Kartamysh Formation; well logging.

Вступ. Найбільші газоконденсатні родовища України, відкриті в межах Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ), розробляються з 50-70-х років минулого сторіччя. Більшість із них на даний час характеризуються високим ступенем виснаженості, проте їх розробка продовжується. На багатьох родовищах згодом виявилось, що видобуток вже перевищив

запаси, які були нараховані на початкових стадіях розробки. Це частково пояснюється відкриттям нових і розширенням контурів вже виявлених покладів подальшою дорозвідкою. Але й існує феномен, коли це відбувається на об'єктах, геометрія яких майже не змінювалась. З цим явищем стикаються при виконанні геолого-економічної оцінки (ГЕО) вуглеводнів (ВВ) подібних родовищ, які тривалий час перебувають у розробці.

Для прикладу наведено результати ГЕО газоконденсатного родовища центральної приосьової частини ДДЗ, яке приурочене до похованої палеозойської складки в межах соляного валу. Формування структури відбувалось в зоні максимального поширення хемогенних відкладів нижньої пермі та активного прояву соляного тектогенезу. Унаслідок цього складка характеризується низкою специфічних особливостей геологічної будови: крутими кутами падіння верств на крилах, ускладненість периклінальних частин соляними штоками та розривними порушеннями, а також невідповідністю структурних планів верхньопалеозойських та мезозойських відкладів.

Історія та контекст. Газоносність родовища приурочена до відкладів стратиграфічного діапазону, що охоплює розрізи нижньої пермі та верхнього карбону. Поверх газоносності перевищує 500 м. Поклади представлені переважно піщано-алевритовими пластами завтовшки від перших до десятків метрів, поширення по площі яких змінюється від суцільного до локальних лінзоподібних тіл. Уся система обмежена по простяганню між ніжками соляних діапірів, зверху перекрита соляними «козирками» та потужною товщею пластової солі, що формують єдиний надійний флюїдоупор під яким сформувався значний поверх газоносності з єдиним рівнем газоводяного контакту (ГВК), підтверджений глибокими свердловинами (рис. 1). Розривні порушення, генетично пов'язані зі штоками, обрамляють структуру по перикліналях, перетинають весь поверх газоносності і перекриваються соляними «козирками». В їх площині, ймовірно, місцями утворились провідні канали, які спричинили вертикальну міграцію флюїдів і їх накопичення в локальних проникних прошарках хемогенних відкладів. Внаслідок цього під козирками спостерігаються зони аномальних тисків, які відповідають рівню ГВК, що є типовим для таких структур.

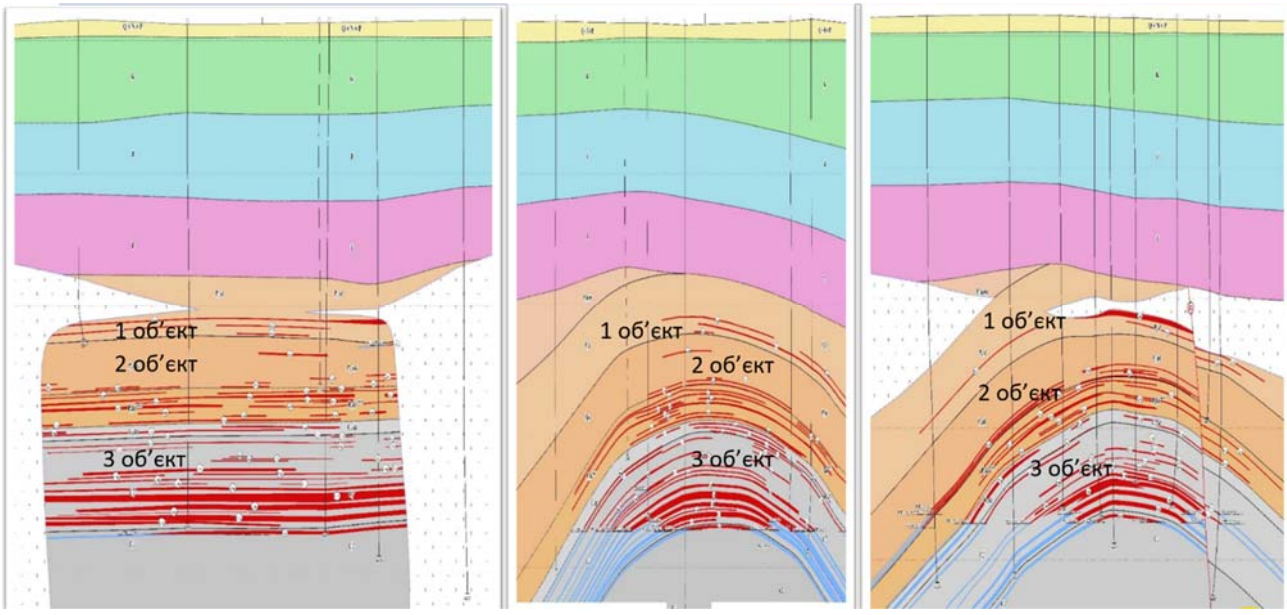


Рис. 1. Геологічна будова

Родовище відкрите наприкінці 60-х років XX століття, експлуатується з початку 1970-х років і перебуває на завершальній стадії розробки, яка характеризується виснаженням пластової енергії. Підтримання річних відборів газу на умовно сталому рівні забезпечується як за рахунок оптимізації системи збирання газу, так і за рахунок ущільнення сітки видобувних свердловин.

Першу ГЕО родовища виконано у 1974 році по завершенню розвідувального етапу та ДПР. На той час було пробурено близько 30 пошукових та розвідувальних свердловин. Пораховано запаси по трьох об'єктах: 1) хемогенні відклади нижньої пермі (слов'янська та микитівська світи), 2) картамиська світа нижньої пермі та 3) араукаритова світа верхнього карбону. В першому підрахунковому об'єкті колектори представлені переважно доломітами, межі покладів визначено по лінії літологічного заміщення, встановленого по свердловинах. Другий об'єкт – картамиська світа – являє собою складнокорельовану товщу з окремими лінзоподібними піщаними тілами. Спостерігається тенденція до зменшення кількості продуктивних прошарків у свердловинах і їх сумарної ефективної товщини від апікальної частини складки до периферії. Межа газоносності для підрахунку проведена по умовній ізопахіті нульової ефективної товщини, яка була визначена за методом екстраполяції. Третій об'єкт, араукаритова свита, представлений порівняно витриманими по площі пластами пісковиків потужністю 10-30 м. Товщини пластів і їх латеральна витриманість збільшуються з глибиною. Об'єкт являє собою масивно-пластовий поклад з єдиним ГВК, встановленим за даними глибоких свердловинах.

Надалі здійснювалося в основному оціночно-експлуатаційне та експлуатаційне розбурювання родовища, за результатами якого нарощувався видобуток вуглеводнів та приріст запасів. Наступну оцінку запасів родовища виконано у 2016-2018 роках на підставі результатів буріння уже близько 130 свердловин, пробурених на той час.

Методичні проблеми. Підрахунок запасів виконувався попластово, згідно з прийнятою методикою та інструкціями, рекомендованими ДКЗ України [1, 2]. Для цього виконана переінтерпретація геофізичних досліджень свердловин (ГДС) і проведена їх детальна попластова кореляція. В розкритому свердловинами розрізі в 15-ти продуктивних горизонтах асельського ярусу нижньої пермі, гжельського та касимовського ярусів верхнього карбону визначено 39 продуктивних пластів, в яких за рахунок тектонічного блокування та літологічного заміщення колекторів локалізовано 64 газоконденсатні поклади.

Для структурних побудов по реперних горизонтах та планах підрахунку було застосовано тривимірне моделювання в програмному комплексі Petrel (Schlumberger). Межі підрахункових об'єктів визначались згідно з прийнятою методикою геометризації покладів.

Перша ітерація другого підрахунку показала результат, наближений до попереднього. Різниця склала 10 % у бік збільшення. В той же час це на 20 % менше, ніж фактичний обсяг видобутку на дату підрахунку і на 40 % менше, ніж розрахункові дреновані запаси методом падіння пластового тиску. Найбільша невідповідність спостерігалась по запасах у хемогенній товщі, а особливо у «картамиші» (рис. 2).

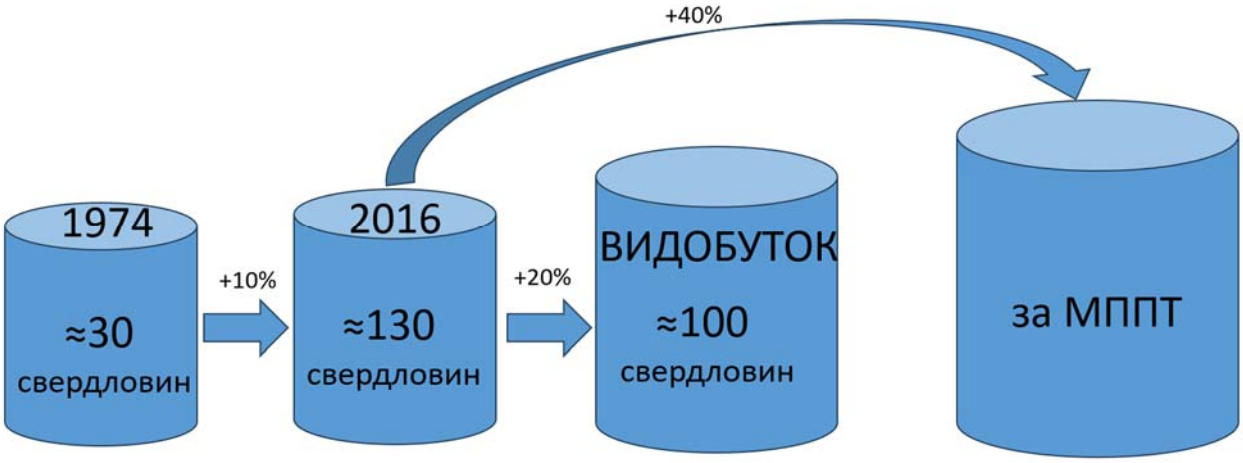


Рис. 2. Порівняння результатів підрахунку запасів об'ємним методом, фактичного видобутку та розрахункових запасів

Рішення та підходи. Для уникнення даної невідповідності в першу чергу було піддано перевірці результати інтерпретації ГДС з метою виявлення можливостей збільшення ємнісних параметрів пластів. Це дозволило збільшити початкові запаси не більш, як на 5 %. Збільшення параметрів по окремих свердловинах на осереднені показники впливало недостатньо. Також спроба перерахунку запасів по «картамишу» єдиним об'єктом результату в бік збільшення також не дало, як і не дала побудова карт пористості для визначення середньозваженого по площі показника. З огляду на це було прийнято рішення про зміну геометрії покладів. Для цього межу колектор-неколектор було зміщено з ½ відстані між свердловинами на ⅔ в бік збільшення площі газоносності. Деякі прошарки і лінзи були об'єднанні з більшими покладами. Таким чином, обсяги запасів, яких не вистачало, були зміщені на периферію родовища і в область меншої щільності сітки свердловин (рис.3). Також допомогло те, що частиною свердловин розроблялось одночасно два об'єкти. Це дозволило «списати» зайву частину видобутих та дренованих запасів з картамиської світи на араукаритову, де були в достатньому обсязі нараховані залишкові запаси.

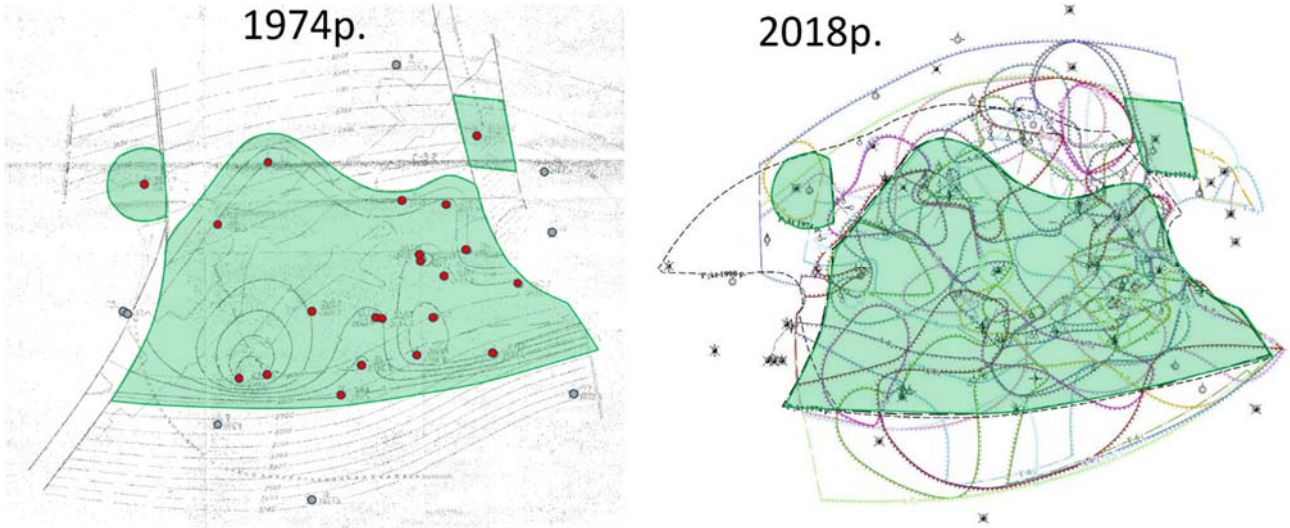


Рис. 3. Зведена схема контурів газоносності покладів картамиської світи

Формально завдання було виконано, але справжня картина залишилась під питанням. В подальшому пробурена на південному крилі структури розвідувальна свердловина замість 12 очікуваних згідно з ГЕО пластів виявила лише один (рис. 4). Також в розвідувальній свердловині, пробуреній в північно-східній частині родовища в межах окремого, тектонічно ізольованого блоку, який не був задіяний у розробку, пластові тиски виявились наближеними до поточних. Цей факт звужує площу родовища до попередніх розмірів і змушує шукати недостатні обсяги в центральній його частині.

На нашу думку, через певні обмеження, спричиненні об'єктивними факторами, геофізичними методами не фіксується повний об'єм резервуару. Виділяються, насамперед, прошарки, які чітко вирізняються своїми колекторськими властивостями, а решта відноситься до неколекторів або зовсім не виділяється. Це особливо стосується картамиської світи, яка в багатьох експлуатаційних свердловинах на родовищі розкрита фільтрами майже на всю товщину.

Як відмічалось вище, «картамиш» являє собою складнокорельовану товщу субконтинентального генезису з великою кількістю піщано-алевритистих лінзоподібних прошарків, не витриманих по колекторським властивостям, товщині і площі розповсюдження. Також імовірно, що певні ділянки пластів мають тонкошарувату структуру, що при сумарному ефекті не дає змогу виділити їх, як колектор, геофізичними методами. Так, за даними ГДС-контролю в розрізі відмічається ряд інтервалів, які працюють газом, але більші, ніж виділено за ГДС, або зовсім не виділені (рис.5).

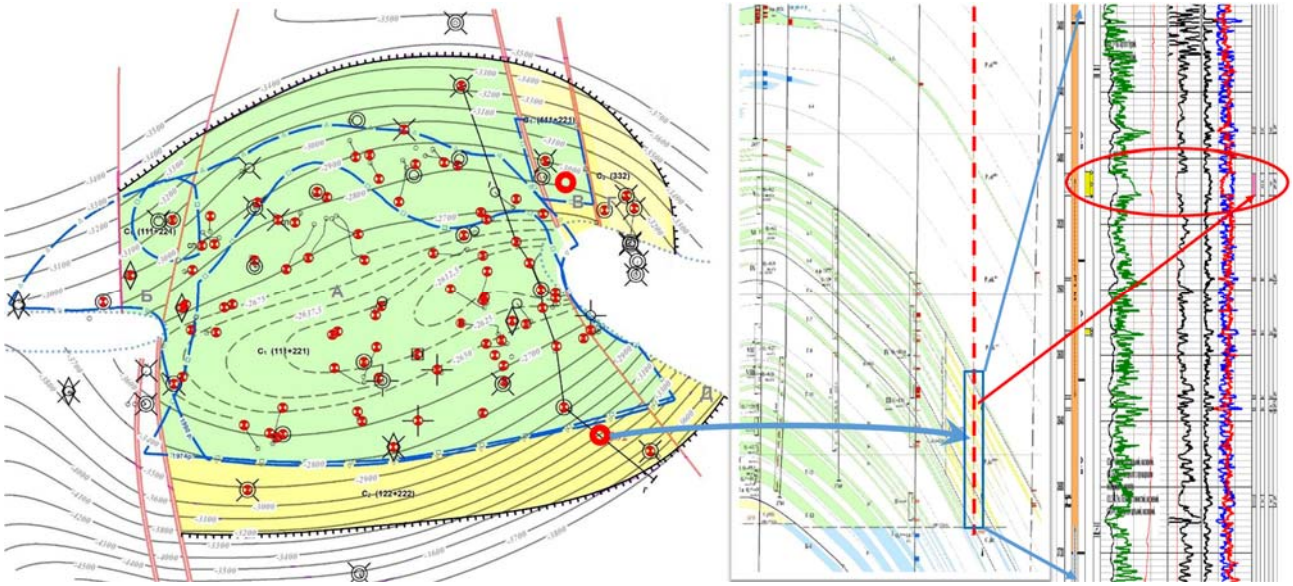


Рис. 4. Результати дорозвідки в периферійній частині родовища

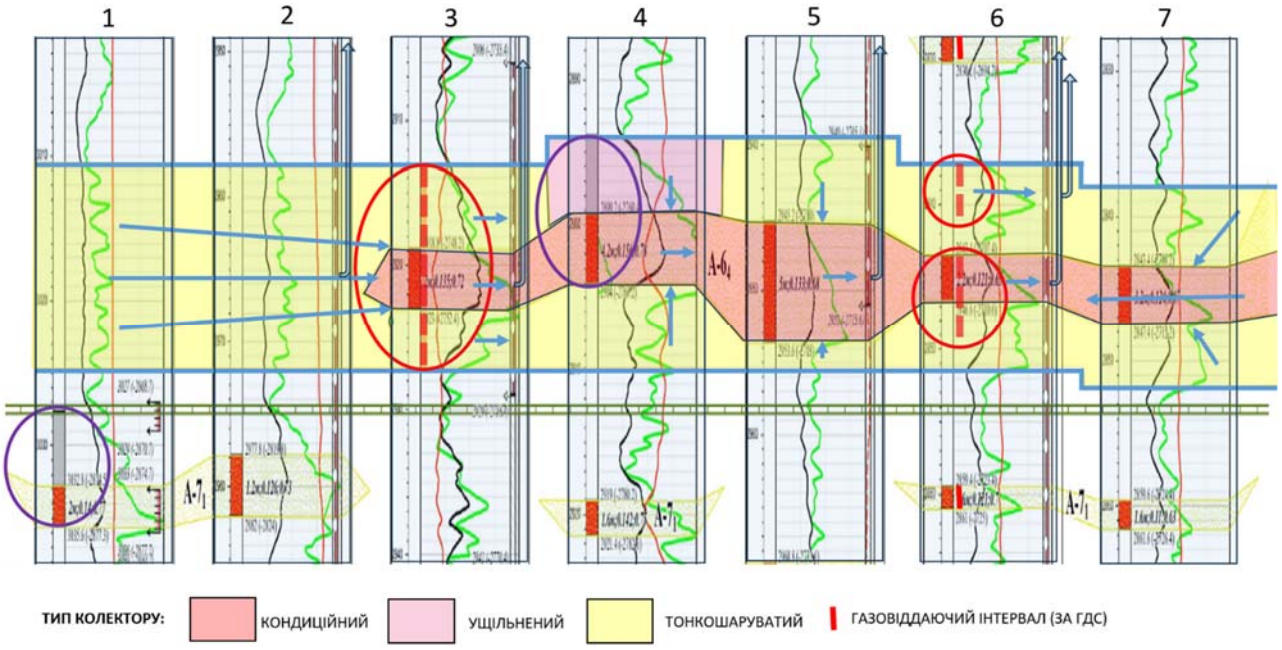


Рис. 5. Схема розподілу колекторів в продуктивному пласті

Цілком ймовірно, що в ході розробки покладів при виснаженні ділянок пласта з якісними колекторськими властивостями в роботу включаються більш щільні ділянки. Також, як показано вище, газом працюють ділянки з тонкошаруватою структурою, які в ГЕО не враховані.

Висновки. Підрахунок запасів родовищ вуглеводнів з тривалою історією розробки залишається складним завданням. Традиційні методики не завжди відображають фактичний обсяг видобутку. Геофізичні дослідження мають певні обмеження: вони виділяють лише найвиразніші колектори, тоді як тонкошаруваті товщі та прошарки із погіршеними колекторськими властивостями залишаються поза увагою, хоча фактично беруть участь у розробці. Картамиська світа є найбільш проблемною: складнокорельована товща з лінзоподібними прошарками не витримана по товщині та властивостях, що призводить до систематичних недообліків запасів. Корекція геометрії покладів та перерозподіл запасів між об’єктами дозволяють формально узгодити розрахунки з фактичним видобутком, але не вирішують проблему повністю.

Вирішення проблеми потребує удосконалення методики підрахунку запасів, розробки геофізичних методів, які дозволятимуть виділяти тонкошаруваті колектори та визначати їх фільтраційно-ємнісні параметри для подальшого врахування при виконанні ГЕО. Геофізичні дослідження мають доповнюватися 3D-моделюванням із застосуванням алгоритмів машинного навчання при прогнозуванні поширення колекторів між свердловинами на основі комплексу геолого-геофізичних параметрів, що дозволить знизити невизначеність під час геометризації покладів. Таким чином можна забезпечити більш достовірну геолого-економічну оцінку та ефективне управління ресурсами.

Список використаних джерел:

1. Рудько Г. І., Ляху М. В., Ловинюков В. І., Багнюк М. М., Григіль В. Г. Підрахунок запасів нафти і газу : підручник / за заг. ред. Г. І. Рудька. Київ ; Чернівці : Букрек, 2016. 592 с.

2. Інструкція із застосування Класифікації запасів і ресурсів корисних копалин державного фонду надр до геолого-економічного вивчення ресурсів перспективних ділянок та запасів родовищ нафти і газу: затв. наказом Державної комісії України по запасах корисних копалин при Комітеті України з питань геології та використання надр від 10.07.1998 № 46, зареєстр. у Міністерстві юстиції України 24.07.1998 за № 475/2915.

References

Rudko, H. I., Liakhu, M. V., Lovyniukov, V. I., Bahniuk, M. M., & Hryhil, V. H. (2016). *Pidrakhunok zapasiv nafty i hazu* [Oil and gas reserves estimation]. Bukrek.

State Commission of Ukraine on Mineral Reserves. (1998). *Instruktsiia iz zastosuvannia Klasyfikatsii zapasiv i resursiv korysnykh kopalyn derzhavnoho fondu nadr do heoloho-ekonomichnoho vyvchennia resursiv perspektyvnykh dilianok ta zapasiv rodovyshch nafty i hazu* (Order No. 46, July 10, 1998; registered with the Ministry of Justice of Ukraine on July 24, 1998, No. 475/2915).

УДК 553.981/982

ГЕОЛОГО-ГЕОФІЗИЧНІ ОСНОВИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИДОБУТКУ ВУГЛЕВОДНІВ ІЗ ПРОДУКТИВНИХ ПОРІД КАРБОНАТНОГО ТИПУ

Федоришин Д.Д., *ORCID ID 0009-0004-5348-9564, dmytro.fedoryshyn@nung.edu.ua;*
Трубенко О.М., *ORCID ID 0000-0003-3418-439X, geotom@nung.edu.ua;*
Федоришин С.Д., *ORCID ID 0009-0005-9274-7244, serhii.fedoryshyn@nung.edu.ua;*
Трубенко О.О., *ORCID ID 0009-0009-2719-7580, oleksandr.trubenko-nz26@nung.edu.ua;*
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
м. Івано-Франківськ, Україна

Розглянуто геолого-геофізичні особливості виділення, оцінювання та прогнозування продуктивності карбонатних порід-колекторів на прикладі верхньоюрських відкладів Лопушнянського нафтового родовища, для яких характерні літологічні неоднорідності, складна структура порового простору, тріщинуватість і кавернозність. Встановлено, що карбонатні колектори представлені переважно тріщинуватими, порово-кавернозними та порово-тріщинними різновидами, при цьому загальна пористість становить (5,7–19,5) %, а проникність — (350–470)·10⁻³ мкм²; тріщини мають переважно розміри (0,5–3) мм, каверни — до (5–6) мм. Виявлено, що заповнення порового простору кальцитом, ангідритом і глинистим матеріалом істотно впливає на фільтраційно-ємнісні властивості порід та результати геофізичних досліджень. Встановлено, що підвищені значення інтервального часу за акустичним каротажем, знижені покази нейтронного гамма-каротажу та високий питомий електричний опір (35,3–57,1) Ом·м в інтервалі (4367–4445) м можуть бути ознаками перспективних колекторів і вуглеводневого насичення за умови комплексної інтерпретації. Обґрунтовано необхідність інтегрованого використання геологічних, кернових, петрофізичних і геофізичних даних, оскільки продуктивність карбонатних колекторів визначається просторовою організацією ефективного порового простору, тріщинуватістю, кавернозністю, цементацією та структурно-тектонічними умовами.

Ключові слова: карбонатний колектор, пористість, проникність, тріщинуватість, кавернозність, структура порового простору, петрофізичні параметри.

GEOLOGICAL AND GEOPHYSICAL BASIS AND PROSPECTS FOR THE EXTRACTION OF HYDROCARBONS FROM CARBONATE-TYPE PRODUCTIVE FORMATIONS

Fedoryshyn D., *ORCID ID 0009-0004-5348-9564, dmytro.fedoryshyn@nung.edu.ua;*
Trubenko O., *ORCID ID 0000-0003-3418-439X, geotom@nung.edu.ua;*
Fedoryshyn S., *ORCID ID 0009-0005-9274-7244, serhii.fedoryshyn@nung.edu.ua;*
Trubenko O., *ORCID ID 0009-0009-2719-7580, oleksandr.trubenko-nz26@nung.edu.ua;*
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, Ukraine

This study examines the geological and geophysical characteristics of the identification, assessment and prediction of the productivity of carbonate reservoir rocks, using the Upper Jurassic deposits of the Lopushnyansk oil field as an example; these deposits are characterised by lithological heterogeneities, a complex pore space structure, fracturing and cavernosity. It has been established that the carbonate reservoirs consist predominantly of fractured, porous-cavernous and porous-fractured types, with total porosity ranging from (5.7–19.5) % and permeability from (350–470)·10⁻³ μm²; fractures are predominantly (0.5–3) mm in size, whilst caverns are up to (5–6) mm. It has been found that the filling of pore space with calcite, anhydrite and clayey material significantly influences the filtration and storage properties of the rocks and the results of geophysical surveys. It has been established that elevated interval times in acoustic logging, reduced readings in neutron-gamma logging and high specific electrical resistivity (35.3–57.1) Ω·m in the interval (4,367–4,445) m may be indicators of prospective reservoirs and hydrocarbon saturation, provided a comprehensive interpretation is carried out. The need for the integrated use of geological, core, petrophysical and geophysical data is justified, as the productivity of carbonate reservoirs is determined by the spatial organisation of effective pore space, fracturing, cavernosity, cementation and structural-tectonic conditions.

Keywords: carbonate reservoir, porosity, permeability, fracturing, cavernosity, pore space structure, petrophysical parameters.

Вступ. Карбонатні породи є одним із найважливіших типів природних резервуарів вуглеводнів. Значна частина світових запасів нафти й газу пов’язана саме з карбонатними товщами, особливістю яких є надзвичайно широкий спектр типів порового простору та складна історія літогенетичних і постседиментаційних перетворень. На відміну від

теригенних колекторів, ємнісно-фільтраційні властивості карбонатних порід значною мірою контролюються процесами перекристалізації, доломітизації, розчинення, цементації, тріщиноутворення та вторинного мінералоутворення.

Проблема достовірного виділення продуктивних карбонатних порід-колекторів особливо актуальна для складнопобудованих геологічних розрізів, у яких окремі літотипи характеризуються значною вертикальною та латеральною неоднорідністю. У таких умовах результати окремого геофізичного методу не завжди дають однозначну інформацію про пористість, проникність і характер флюїдонасичення.

Складність інтерпретації геолого-геофізичних даних зумовлена також тонкошаруватістю розрізу, нерівномірним розподілом порового простору, наявністю вторинних пор і каверн, різною мінералізацією пластового флюїду, неоднорідною цементацією та розвитком тріщин різної орієнтації.

Для карбонатних колекторів характерним є поєднання первинної та вторинної пористості. Первинна пористість формується на стадії осадження та раннього діагенезу, тоді як вторинна може бути пов’язана з процесами вилуговування, перекристалізації, доломітизації, тектонічного тріщиноутворення та формування каверн. У результаті оцінки перспектив вуглеводнів складнопобудованих порід навіть літологічно близькі породи можуть мати принципово різні колекторські властивості.

Метою нашої роботи є обґрунтування параметрів геолого-геофізичних критеріїв виділення та оцінювання продуктивності карбонатних порід-колекторів, а також визначення перспектив їх використання для пошуку та розробки покладів вуглеводнів на прикладі верхньоюрських відкладів Лопушнянського нафтового родовища.

Для аналізу геолого-геофізичних особливостей карбонатних порід-колекторів використано матеріали досліджень Лопушнянського нафтового родовища. Структурна будова родовища характеризується складністю геологічного розрізу та поєднанням різних за походженням і віком літологічних комплексів.

У межах родовища виділяються автохтонні літотипи Більче-Волицької зони, нижні структурні елементи міоценових відкладів Самбірської зони, флішові утворення крейди Покутсько-Буковинських Карпат, а також алохтонні комплекси верхньокрейдового віку.

Структурна карта покрівлі верхньої юри, покладена в основу геологічного аналізу, побудована за матеріалами Б. І. Денеги, П. М. Бодлака, Ю. З. Крупського, А. В. Шакіна та П. М. Шеремети.

Особливий інтерес становлять карбонатні відклади юрського віку, які характеризуються складною літологічною будовою та різними типами порового простору.

Методична основа досліджень включала наступний комплексний аналіз:

- геолого-структурної будови родовища;
- літолого-стратиграфічних характеристик розрізу;
- результатів відбору та лабораторного дослідження керна;
- опису шліфів карбонатних порід;
- результатів електрометрії;
- даних радіометричних методів;
- акустичного каротажу;
- нейтронного гамма-каротажу;
- петрофізичних характеристик порід;
- результатів випробування свердловин;
- характеру нафтогазонасичення продуктивних інтервалів.

Особливу увагу нами приділено зіставленню геофізичних параметрів визначених за комплексом ГДС із фактичними характеристиками керна. Такий підхід дає змогу встановити зв’язок між геологічною будовою породи та її геофізичними параметрами [1].

Для оцінювання колекторських властивостей порід використовувалися коефіцієнти пористості та проникності, а також оцінювалися якісні характеристики тріщинуватості й кавернозності [2].

Карбонатні породи в досліджуваному розрізі літолого-стратиграфічних товщ представлені переважно вапняками різного ступеня перекристалізації, тріщинуватості та вторинної зміни. За структурою порового простору серед них виділяються:

1. порові колектори;
2. тріщинуваті колектори;
3. порово-тріщинні колектори;
4. порово-кавернозні колектори;
5. комбіновані порово-тріщинно-кавернозні різновиди.

Тріщини мають ізометричну або видовжену форму. Їхні розміри переважно становлять (0,5–3) мм, а розміри каверн можуть досягати (5–6) мм.

Важливою особливістю досліджуваних карбонатів є нерівномірне заповнення порового простору вторинними мінералами. Частина тріщин і каверн може бути заповнена кальцитом, ангідритом або глинистим матеріалом. У наслідок цього порода, яка за морфологією має значний об'єм вторинної пористості, може характеризуватися відносно низькою ефективною проникністю.

Таким чином, для оцінювання карбонатного колектора недостатньо визначати лише загальний коефіцієнт пористості. Необхідно оцінити тип пористості, розміри та взаємозв'язок пор, каверн і тріщин, ступінь їх відкритості та характер мінерального заповнення.

Карбонатні породи юрського горизонту в досліджуваному розрізі представлені двома основними пачками.

Верхня пачка характеризується чергуванням карбонатних порід із прошарками аргілітів. Окремі літотипи мають різний ступінь заглинизованості та піщанистості.

Вапняки цієї пачки переважно щільні, криптокристалічні та міцні. За результатами геофізичних досліджень вони характеризуються специфічним комплексом електричних, радіоактивних та акустичних параметрів. Зокрема, для окремих інтервалів досліджень встановлено підвищення інтервального часу за даними акустичного каротажу.

Загальний винос керну з інтервалів залягання карбонатних відкладів є невисоким і становить близько 6 м. Найкраща охарактеризованість розрізу керном спостерігається у свердловині Лопушня-11, де інтервал відібраного керна сягає близько 16 м.

За результатами петрографічного аналізу шліфів, вапняки характеризуються тонкою та мікрозернистою будовою. Серед них виділяються тонкомікрозернисті, згусткові, органогенно-детритові та перекристалізовані різновиди.

Окремі літотипи характеризуються значним ефективним поровим простором за відсутності вираженої тріщинуватості та кавернозності. Товщина окремих прошарків становить (0,4–2,0) м.

Сумарна товщина нижньої карбонатної пачки становить приблизно (20–30) м.

За результатами дослідження керна з верхньоюрських відкладів встановлено такі петрофізичні параметри:

- коефіцієнт пористості — (5,7–19,5) %;
- коефіцієнт проникності — $(350–470)\cdot10^{-3}$ мкм²;
- підвищені значення інтервального часу за результатами акустичного каротажу;
- знижені значення за нейтронним гамма-каротажем.

Отримані характеристики свідчать про значний потенціал верхньоюрських карбонатних порід як колекторів вуглеводнів.

Електричні властивості карбонатних порід визначаються їх мінеральним складом, структурою порового простору, ступенем цементації та характером флюїдонасичення.

Особливого значення комплексу ГДС набуває величина питомого електричного опору. Для продуктивних інтервалів верхньої юри Лопушнянського родовища встановлено високі значення питомого електричного опору — (35,3–57,1) Ом·м в інтервалі глибин (4367–4445) м.

Водночас високий електричний опір не може розглядатися як однозначний критерій нафтогазонасичення. Карбонатні породи характеризуються низькою мінералізацією пластової води, високою щільністю та низькою глинистістю, а також можуть демонструвати підвищений питомий опір. У цьому випадку інтерпретація електрометрії повинна проводитися у комплексі з результатами досліджень акустичного, нейтронного та інших методів каротажу.

Для карбонатних порід-колекторів акустичні параметри значною мірою залежать від мінерального складу, пористості, тріщинуватості та характеру заповнення пор.

Підвищені значення інтервального часу можуть бути також пов'язані з розвитком порового та тріщинного простору. У цьому випадку значне розходження між пористістю акустичного каротажу та пористістю, визначеною за вимірюванням керну, може бути індикатором вторинної тріщинуватості.

Радіометричні характеристики карбонатних порід визначаються передусім вмістом глинистого матеріалу та особливостями мінерального складу.

Для чистих вапняків характерно відносно низькі значення природної радіоактивності. Збільшення показів може бути пов'язане із заглинизованістю породи або наявністю домішок, що містять радіоактивні елементи.

У цьому випадку радіометричні методи є важливим інструментом для розмежування чистих карбонатних літотипів та глинисто-карбонатних різновидів.

Занижені значення нейтронного гамма-каротажу в окремих інтервалах можуть бути пов'язані з підвищеною пористістю та зміною водневого індексу породи.

Однак у карбонатних колекторах процес інтерпретації результатів нейтронних методів, також ускладнюється неоднорідністю порового простору, наявністю каверн і різним характером їх заповнення.

Однією з визначальних особливостей характеристик карбонатних колекторів є розвиток вторинної пористості.

Умовно поровий простір карбонатного колектора можна представити як систему взаємопов'язаних елементів, а саме:

пори → мікротріщини → тріщини → каверни.

Ефективність такої системи визначається не тільки сумарним об'ємом порового простору, але і її ступенем гідродинамічного зв'язку.

За наявності великої кількості ізольованих каверн порода може мати не тільки високу загальну пористість, але низьку ефективну проникність. Однак, відносно невеликий об'єм відкритих тріщин може забезпечувати високу продуктивність свердловини.

Саме тому продуктивність карбонатного колектора часто контролюється тріщинуватістю сильніше, ніж матричною пористістю.

Тектонічні порушення можуть відігравати подвійну роль у процесі свердловинних досліджень. З одного боку, вони створюють додаткову систему відкритих тріщин і сприяють формуванню вторинного колекторського простору, а з іншого боку, мінералізація тріщин кальцитом, ангідритом або іншими мінералами, може призводити до їх герметизації.

Таким чином у процесі прогнозування продуктивності порід необхідно встановлювати не лише факт наявності тріщин, а й їхню орієнтацію, протяжність, ступінь відкритості та характер мінерального заповнення.

Особливістю Лопушнянського родовища також є наявність декількох покладів із високими дебітами нафти.

Під час випробування пошукових свердловин № 1 і № 2, які були закладені за межами основної антиклінальної складки, виникла необхідність уточнення просторового положення перспективної структури. У цьому випадку була пробурена пошукова свердловина № 3. На глибині близько 4200 м у свердловині отримано приплив високоякісної нафти дебітом 223 м³/добу та газу — 49,1 тис. м³/добу. Літолого-

стратиграфічна будова продуктивного інтервалу (4367–4445) м представлена переважно ущільненими вапняками. За результатами електрометрії встановлено високі питомі електричні опори — (35,3–57,1) Ом·м. Висока продуктивність свердловини за наявності відносно складної літологічної будови свідчить про важливу роль вторинного порового простору, насамперед тріщинуватості та кавернозності.

Таким чином, навіть ущільнені карбонатні породи можуть бути високопродуктивними колекторами за умови розвитку взаємопов'язаної системи тріщин і каверн.

Проведений аналіз свідчить, що головна проблема геолого-геофізичного прогнозування карбонатних колекторів полягає у відсутності прямої залежності між загальною пористістю та продуктивністю пласта.

Для теригенних колекторів коефіцієнт пористості часто достатньо добре корелюється з проникністю. У карбонатних породах така залежність може порушуватися внаслідок розвитку вторинної пористості, кавернозності, тріщинуватості та цементації.

Важливе значення має співвідношення матричної та вторинної пористості. Якщо матричний поровий простір характеризується слабкою проникністю, але перетинається відкритими тріщинами, фільтраційні властивості пласта суттєво підвищуються.

Водночас надмірний розвиток тріщин може створювати небажані умови під час розробки родовища. Зокрема, високо проникні тріщини можуть сприяти швидкому прориву пластової води або газу, що призводить до нерівномірного вироблення запасів.

Тому геолого-геофізична модель карбонатного резервуара повинна враховувати щонайменше чотири рівні формування порового простору:

1. матричний рівень — первинні та вторинні пори;
2. мікротріщинний рівень — мікротріщини, що забезпечують зв'язок між порами;
3. макротріщинний рівень — відкриті тектонічні тріщини;
4. кавернозний рівень — великі вторинні порожнини.

Комплексна інтерпретація геофізичних матеріалів, повинна бути спрямована на визначення внеску кожного з цих компонентів у процесі формування ефективної ємності та проникності.

На підставі проведеного аналізу пропонується концептуальна модель перспективного карбонатного колектора.

Перший компонент — літологічний. Перспективними є вапняки з достатнім первинним поровим простором та сприятливою структурою пор.

Другий компонент — діагенетичний. Розчинення та перекристалізація можуть збільшувати вторинну пористість, тоді як кальцитизація та ангідритизація здатні її зменшувати.

Третій компонент — тектонічний. Тріщинуватість, пов'язана з розломами та зонами підвищеної деформації, може формувати високопроникні канали фільтрації.

Четвертий компонент — флюїдодинамічний. Розподіл нафти, газу та води визначається структурною позицією, проникністю та характером взаємозв'язку порового простору.

П'ятий компонент — геофізичний. Надійне виділення продуктивних пластів у інтервалах залягання можливе лише за результатами комплексного аналізу електричних, акустичних, нейтронних та радіометричних характеристик.

Запропонована модель дає змогу перейти від формального виділення карбонатного пласта до прогнозування його реальної продуктивності.

Результати дослідження можуть бути використані для уточнення критеріїв виділення карбонатних колекторів у складнопобудованих розрізах; під час інтерпретації комплексу геофізичних досліджень свердловин; для оцінювання перспектив нафтогазоносності верхньоюрських відкладів; для прогнозування зон розвитку вторинної пористості; під час визначення перспективних інтервалів для випробування; для побудови тривимірних

геолого-геофізичних моделей родовищ; при плануванні системи розробки тріщинуватих карбонатних резервуарів.

Особливо важливим є врахування просторової неоднорідності тріщинуватості. Дані акустичного та електричного каротажу доцільно інтегрувати з результатами дослідження відібраного керна, петрографічного аналізу та випробування свердловин.

Карбонатні породи верхньої юри Лопушнянського нафтового родовища характеризуються складною будовою порового простору та значною літологічною неоднорідністю, що ускладнює їх геолого-геофізичне оцінювання.

У межах досліджуваних відкладів виділяються порові, тріщинуваті, порово-тріщинні та порово-кавернозні типи колекторів. Розміри тріщин становлять переважно (0,5–3) мм, каверн — до (5–6) мм.

Значний вплив на ефективні колекторські властивості мають вторинні процеси цементації кальцитом, ангідритом і глинистим матеріалом, які можуть частково або повністю перекривати пори, тріщини та каверни.

За даними досліджень керну коефіцієнт пористості верхньоюрських карбонатних порід становить (5,7–19,5) %, а проникність — (350 – 470)·10⁻³ мкм², що свідчить про наявність сприятливих ємнісно-фільтраційних характеристик окремих літотипів (рис. 1).

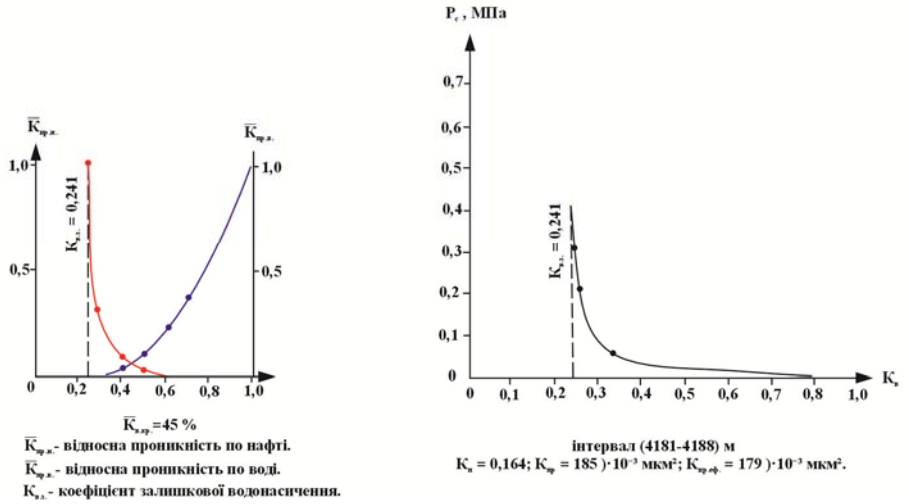


Рис. 1. Результати визначення критичних значень водонасиченості порід-колекторів (вапняк) в інтервалі 4181-4188 м св. №11-Лопушна

Для продуктивних інтервалів встановлено підвищені значення інтервального часу за акустичним каротажем та знижені параметри нейтронного гамма-каротажу. В інтервалі (4367–4445) м питомий електричний опір становить (35,3–57,1) Ом·м. Високі дебіти свердловин, зокрема отриманий у свердловині № 3 приплив нафти 223 м³/добу та газу 49,1 тис. м³/добу, що підтверджує високу перспективність порід окремих карбонатних інтервалів. Основним критерієм продуктивності карбонатного колектора не може бути лише загальна пористість. Визначальне значення має характер взаємозв'язку пор, тріщин і каверн, а також ступінь їх відкритості та мінерального заповнення.

Тектонічна тріщинуватість може істотно підвищувати проникність карбонатних порід і формувати високопродуктивні зони, однак під час розробки вона може також сприяти прискореному надходженню пластової води або газу.

Найбільш надійне прогнозування продуктивності карбонатних колекторів можливе за умови комплексної інтерпретації геологічних, петрографічних, петрофізичних та геофізичних даних.

Перспективи подальшого видобутку вуглеводнів із карбонатних порід Лопушнянського родовища пов'язані з детальним картуванням зон підвищеної пористості, тріщинуватості та кавернозності й встановленням їх просторового зв'язку з тектонічними порушеннями.

Список використаних джерел:

1. Нестеренко М. Ю. Петрофізичні основи обґрунтування флюїдонасичення порід-колекторів. – Київ: УкрДГРІ, 2010. – 224 с.

2. Безродна І. М., Гожик А. П. Петрофізика: навч. посіб. / І. М. Безродна, А. П. Гожик. — К.: ВПЦ "Київський університет", 2018. - 256 с.

References

Bezrodna, I.M., & Gozhyk, A.P. (2018). *Petrophysics: A textbook*. Kyiv: Kyiv University Publishing House.

Nesterenko, M.Yu. (2010) Petrophysical Basis for Determining Fluid Saturation in Reservoir Rocks. Kyiv: UkrDGRi.

УДК 620.92:621.311.25:622.279.5:661.96

GEO-VAULT: ВІД ВИСНАЖЕНИХ РОДОВИЩ ДО ПІДЗЕМНИХ ЕНЕРГОХАБІВ

Фик М.І.[1], *д. тех. н., проф., mfyk@ukr.net;*
Левонюк С.М.[3]; ***Донський Д.Ф.***[2]; ***Ляхде А.***[2]; ***Попадинець Т.П.***[4],
1 – НТУ «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна,
2 – University of Eastern Finland, Kyonio, Фінляндія,
3 – ПАТ «Укргазвидобування», Харків, Україна,
4 – ГО «Геотермал Україна», Україна

Мета роботи – предметно представити майбутнім промисловим партнерам, інвесторам, науковцям та експертам грант-стартап GEO-VAULT: українсько-фінську дослідницьку ініціативу з перетворення виснажених нафтогазових родовищ на підземні енергохаби сезонного й пікового зберігання енергії. Показано, що видобування залишкових вуглеводнів і геотермальної енергії з виснажених покладів вирішується найвигідніше не окремо, а в комплексі з одночасним створенням підземної ємності зберігання – теплової, баричної, електрохімічної та воднево-метанової, – що спирається на вже наявний свердловинний і промисловий фонд. Наведено структурну схему вузла смарт-енергомережі, оцінено техніко-економічні, тактико-технічні та безпеково-екологічні переваги такого підходу (у табличній формі) та представлено алгоритмічно-проектний маршрут переходу від наявного науково-технічного доробку консорціуму (TRL 3–6, підтверджений публікаціями 2020–2026 рр. і цифровими двійниками на реальних родовищах) до масштабованого кластера підземних енергетичних реакторів.

Ключові слова: виснажені нафтогазові родовища; підземне зберігання енергії; геотермально-вуглеводнева синергія; енергохаб; водень.

GEO-VAULT: TRANSFORMING DEPLETED HYDROCARBON FIELDS INTO UNDERGROUND ENERGY STORAGE HUBS

Fyk M.I.[1], *Dr. Sc. (Eng.), Professor, mfyk@ukr.net;*
Levoniuk S.M.[3]; ***Donskyi D.F.***[2]; ***Lähde A.***[2]; ***Popadynets T.P.***[4],
1 – National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine,
2 – University of Eastern Finland, Kuopio, Finland,
3 – PJSC "Ukrgazvydobuvannya", Kharkiv, Ukraine,
4 – NGO "Geothermal Ukraine", Ukraine

The purpose of this paper is to present, briefly and convincingly, to future industrial partners, investors, scientists and experts the GEO-VAULT grant startup: a Ukrainian–Finnish research initiative that converts depleted hydrocarbon fields into integrated underground energy hubs for seasonal and peak energy storage. The study shows that extracting geothermal energy together with residual hydrocarbons from depleted reservoirs is most advantageously solved not as two separate tasks, but jointly, through the simultaneous creation of underground thermal, baric, electrochemical and hydrogen/methane storage capacity built on existing well and industrial infrastructure. A structural scheme of the smart-grid energy-hub node is presented, and the techno-economic, tactical-technical and security-ecological advantages of this integrated approach are evaluated in tabular form. An algorithmic design roadmap is outlined, tracing the transition from the consortium's existing scientific and engineering track record (TRL 3–6, confirmed by 2020–2026 publications and digital twins validated on real fields) to a scalable cluster of underground energy reactors.

Keywords: depleted hydrocarbon fields; underground energy storage; geothermal–hydrocarbon synergy; energy hub; hydrogen.

1. Introduction

The growing share of variable solar and wind generation has shifted the main bottleneck of the energy transition from generation capacity to storage duration. Diurnal storage is increasingly covered by lithium-ion systems, whereas long-duration and seasonal storage – the gap between the summer surplus and the winter demand peak – is not structurally covered by any single mature technology. At the same time, old oil-and-gas provinces hold another resource: already surveyed, drilled and partly equipped subsurface infrastructure that mostly remains unused once field operation ends.

Depleted hydrocarbon fields are a geological asset shared by Ukraine, the North Sea basins close to Finland, and much of NATO territory in general: they combine an already characterised

permeable volume, an existing well stock and, in many cases, residual reservoir heat and brine mineralisation compatible with both thermal and electrochemical storage media. It is on this shared asset that the GEO-VAULT partnership is built – a consortium of NTU "Kharkiv Polytechnic Institute", the University of Eastern Finland, PJSC "Ukrgazvydobuvannya" and NGO "Geothermal Ukraine", submitting a multi-year research proposal under the NATO SPS Multi-Year Project 2027-1 programme.

2. Main material

2.1. Consortium track record: why GEO-VAULT is already a grant-ready startup

The GEO-VAULT proposal does not rely on a hypothesis built "from scratch", but on a consistent line of the consortium's own publications and digital twins, which since 2020 has progressively worked out the very engineering solutions underlying the concept. Key prior publications include the calculation model for lifting a heat-transfer agent in a geothermal well [1], the first published technological scheme of a combined geothermal-hydrocarbon production and storage system [2], and the wellbore hydro-gas-mechanics toolkit used to validate GEO-VAULT on real field data of the Yablunivske field [3].

Such pilot projects as GEO-VAULT open the way to practical implementation of the principles and solutions already worked out in this research line and in the team's grant-supporting article, whose validation section gives a full quantitative assessment on real geological and field data. Three recent results directly extend this base from well scale to hub scale, as summarised in Table 1.

Table 1

Scientific and engineering base of the consortium that turns GEO-VAULT from an idea into a grant-ready proposal

Source / result	What has already been quantitatively confirmed
GEO-VAULT (grant-supporting article, 2026)	Hybrid thermo-baric-electrochemical storage in one circulating agent; validated on the Yablunivske field (horizon C-8): $\Delta G \approx 98{,}000$ t/cycle, ≈10,055 MWh of potential per single cell; 8 productive horizons, ≈75 wells on the field.
GeoNano-H_2 Loop (2026, joint R&D with UEF)	Geothermal heat + electrolysis + near-well hydrogen storage in one wellbore; Yefremivske field: up to 1 MW (single well) and 3.5–5.5 MW (doublet); H_2 10–15 kg/h at 3.2–4.1 €/kg; 150–250 suitable wells across Ukraine.
Seasonal underground heat storage (2026)	Nano-insulated heat-carrier shells for UTES/ATES in depleted DDB reservoirs; doublet ≈8.4 GWh/year; heat cost ≈0.22 UAH/kWh – 4.4 times cheaper than natural gas.
"Golden Hydrogen" – Geo-H_2/CH_4 Energy Hubs (presentation, Lviv 2026)	Evolutionary model "Variant 1→4": from surface energetics to georeactor in-reservoir H_2/CH_4 synthesis; DDB potential 8–12 GW, up to 0.8 Mt H_2/year; LCOH down to 15–35 €/MWh at maturity.

Together these results form a continuous evidence chain – from the well lifting model (2020) and the technological scheme (2021), through the production-rate field validation (2024), to the integrated energy hub (2026) and its cluster-scale expansion – which is what establishes GEO-VAULT's readiness for pilot implementation, rather than for a single stand-alone research grant.

2.2. Concept: GEO-VAULT as a future smart-grid energy-hub node

GEO-VAULT replaces three to four separate loops – thermal, baric, electrochemical and hydrogen/methane – with a single circulating nano-modified agent operating in a depleted reservoir. Surplus solar and wind generation charges the agent at the injection wellhead; a charge/discharge station at the production wellhead returns the stored energy to the consumer as electricity, heat and synthetic fuel. Fig. 1 shows the structural scheme of such a node.

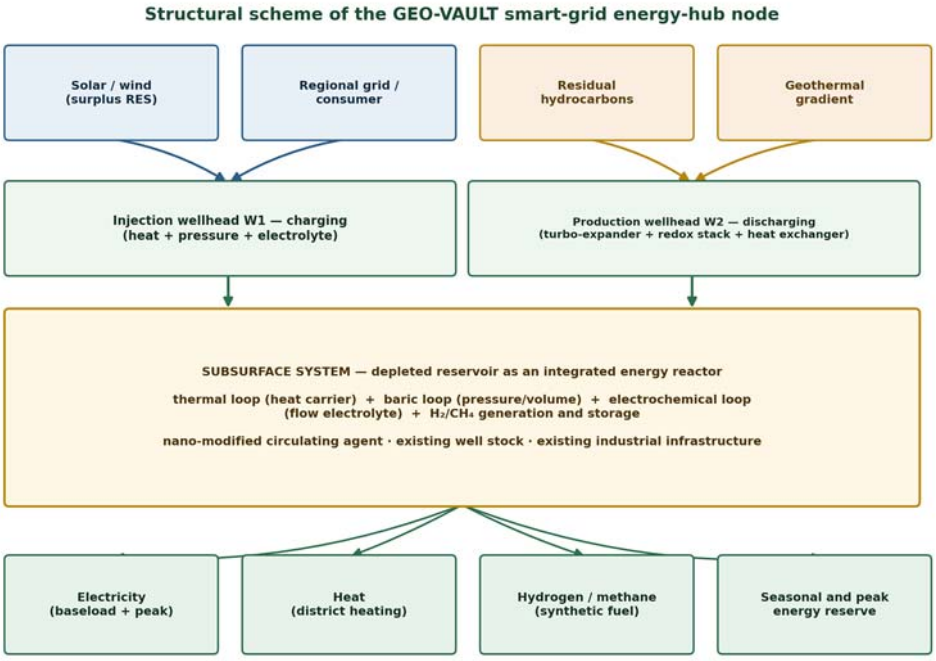


Fig. 1. Structural scheme of the GEO-VAULT smart-grid energy-hub node: from surface sources and the reservoir – through wellhead charge/discharge stations – to the integrated subsurface reactor and four output energy forms

2.3. Why synergy outperforms separate solutions

The central thesis of this paper is that extracting geothermal energy together with residual hydrocarbons from depleted fields, and underground seasonal/peak energy storage, are not two adjacent tasks but a single system sharing one geological resource. Reservoir heat, residual hydrocarbon potential, and the pore volume/pressure/well stock itself intersect in one physical space (Fig. 2): this intersection is precisely the economic basis of GEO-VAULT, since it allows the capital cost of equipping a single site to be covered at once by three functional revenue streams – production, storage and generation.

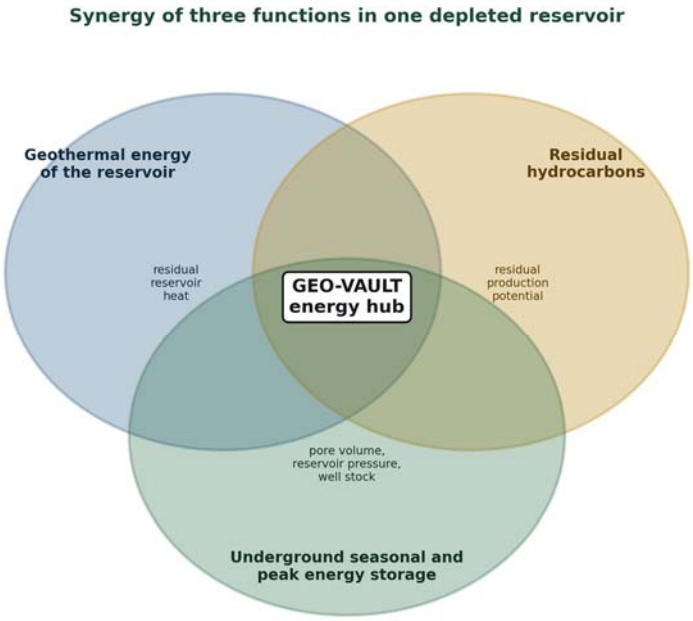


Fig. 2. Synergy of three functions in one depleted reservoir: geothermal energy, residual hydrocarbons and underground seasonal/peak storage intersect in a single volume – the GEO-VAULT energy hub

Separate solutions (a stand-alone geothermal plant, separate processing of residual hydrocarbons, a separate surface energy store) each re-drill, equip and certify infrastructure that a depleted field already has. The integrated GEO-VAULT solution capitalises this existing infrastructure once – and then monetises it simultaneously along three to four revenue streams, which is what generates the techno-economic advantage presented in Section 2.4.

2.4. Evaluation of advantages of the integrated approach

Tables 2–4 systematise the advantage of the combined solution over separate technologies along three groups of criteria – techno-economic, tactical-technical and security-ecological – which are of primary interest to investors, industry engineers and security/regulatory partners, respectively.

Table 2

Techno-economic advantages of the integrated underground energy hub (sources: GEO-VAULT, GeoNano-H_2 Loop, "Seasonal underground storage", 2026; DOE/Lazard/IRENA benchmarks)

Indicator	GEO-VAULT (integrated solution)	Separate technologies (baseline)
Levelised cost of storage (LCOS)	$29/MWh (GEO-VAULT wellhead scheme)	$58–145/MWh (Li-ion BESS, CAES, VRFB)
System round-trip efficiency	84–89 %	65–86 %
Storage CAPEX	≈$62/kWh	$110–310/kWh
Cost of produced hydrogen	3.2–4.1 €/kg (GeoNano-H_2 Loop, Yefremivske)	4–6 €/kg (typical surface "green" electrolysis)
Cost of seasonal heat	≈0.22 UAH/kWh (nano-insulated ATES)	4.4× more expensive – gas; 5.1× – firewood; 12.4× – coal
Saving on well-related CAPEX	–80…–90 % (reuse of existing well stock)	0 % (new drilling – baseline cost)
Payback period	2–4 years (pilot well / doublet)	5–9 years (separate surface scheme)

Table 3

Tactical-technical advantages of the integrated underground hub relative to gas generation and stand-alone RES without storage

Criterion	GEO-VAULT (integrated subsurface hub)	Gas generation	Stand-alone RES without storage
Baseload capability	yes	yes	no
Energy storage	yes, in-reservoir (seasonal and peak)	partial, external stores	no, requires separate BESS
CO_2 emissions	significantly reduced / negative (utilisation of residual HC)	high	low, but no baseload
Existing infrastructure	yes – repurposed well stock	partial	requires new construction
Scale potential in Ukraine	150–250 suitable wells (national screening)	limited by gas-supply fields	limited by land resources
Functions combined in one volume	3–4 (heat + pressure + electrochemistry + H_2/CH_4)	1 (generation)	1 (generation)

Table 4

Security-ecological advantages of placing energy functions underground – particularly relevant under martial law and post-war reconstruction of Ukraine's energy system

Factor	GEO-VAULT advantage
Resilience to shelling	No vulnerable industrial-scale surface infrastructure – the main energy-intensive functions are located underground.
Fuel depots	Not required: no stored fuel volumes at the surface and no associated risk of detonation or fire from a strike.
Signature	Minimal thermal and optical signature – low detectability for reconnaissance and targeting.
Deployment speed in a crisis period	Installation on the site of the existing wellhead assembly – approximately 1–3 months.
Priority-connection facilities	Hospitals, military units, shelters, critical-infrastructure enterprises, frontline communities.
Grid decentralisation	A distributed network of local nodes instead of centralised facilities – increases the regional energy system's resilience to a single strike.
Environmental effect	Reuse (rather than mothballing or decommissioning) of depleted industrial sites; reduced CO_2 emissions compared with gas generation.

2.5. Algorithmic design approach: from the existing track record to a hub cluster

The transition to underground energy hubs is not a single leap but a sequence of four engineering-implementation variants, each already confirmed at a specific technology readiness level (TRL) in the consortium's publications (Fig. 3). Variant 1 (surface energetics) is the current state of most depleted fields: separate generation and storage loops. Variant 2 moves heat exchange

and partial generation into the near-well zone. Variant 3 is GEO-VAULT itself: an integrated reservoir in which the thermal, baric and electrochemical loops are combined in one circulating agent, confirmed at TRL 6 by quantitative validation on the Yablunivske and Yefremivske fields. Variant 4–5 scales this solution to a cluster of wellbore energy hubs with in-reservoir hydrogen and methane synthesis.

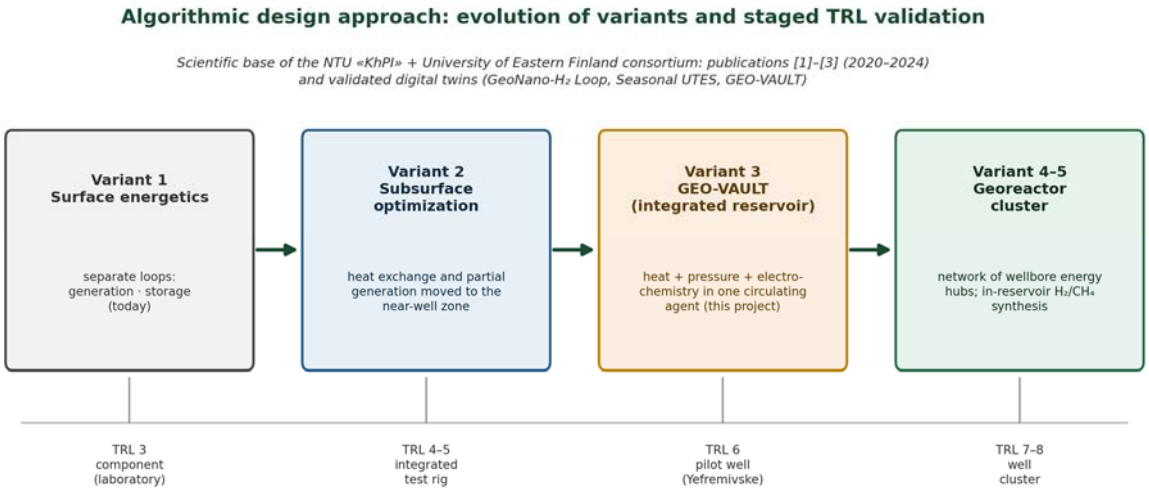


Fig. 3. Algorithmic design roadmap: evolution of technological variants (1→4–5) and the corresponding technology readiness levels (TRL), confirmed by the consortium's 2020–2026 publications

2.6. Partnership and grant readiness

The GEO-VAULT consortium combines the oil-and-gas engineering school of NTU "KhPI" (well modelling, industrial validation, links to Ukraine's operating fields) with the materials-science competence of the University of Eastern Finland (battery and nanomaterials development), joined by NGO "Geothermal Ukraine" as a channel for community-level deployment. Substantial support – including experimental and industrial-operational material, and support to applied engineering – is provided by the traditional partnership between NTU "KhPI" and PJSC "Ukrgazvydobuvannya". This combination of competences has already produced joint publications (GeoNano-H_2 Loop, 2026) and forms the basis of a multi-year research proposal under the NATO SPS Multi-Year Project 2027-1 programme – a transition from component TRL 3–6 to an integrated pilot cluster (TRL 7–8) over three years of implementation.

While the consortium's core membership is already in place, we continue to welcome industrial partners and investors to collaborate at three levels: (1) providing access to candidate wells on depleted fields for pilot deployment; (2) co-financing laboratory calibration of the circulating agent and bench testing; (3) participating in scaling the first hub cluster once the pilot stage is complete. Scientific and expert partners are invited to jointly review the energy-balance mathematical model and to extend the patent-literature analysis to adjacent NATO basins.

3. Summary

Extracting geothermal energy together with residual hydrocarbons from depleted hydrocarbon fields is most advantageously solved, both economically and technically, not separately but jointly, through the simultaneous creation of underground seasonal and peak energy-storage hubs – this is the central thesis confirmed by the quantitative base of GEO-VAULT, GeoNano-H_2 Loop and related consortium work presented in this paper. This approach delivers concrete, measurable advantages along three dimensions: techno-economic (LCOS $29/MWh, payback 2–4 years), tactical-technical (combined baseload and storage on existing infrastructure), and security-ecological (resilience to shelling, absence of fuel depots, rapid deployment). The scientific and engineering track record of the NTU "KhPI" – University of Eastern Finland consortium, consistently built up through 2020–2026 publications, demonstrates that GEO-VAULT is not a conceptual idea but a grant-ready, multi-year research project capable of building

the first nodes of tomorrow's smart energy grids on depleted fields in Ukraine and partner NATO countries.

References

Fyk, M. I., Biletskyi, V. S., & Abbood, M. H. (2020). Modeling of the lifting of a heat transfer agent. Mining of Mineral Deposits, 14(2), 66–74. https://doi.org/10.33271/mining14.02.066.

Fyk, M. I., Biletskyi, V. S., Abbood, M. H., & Fyk, O. I. (2021). Technological scheme of the combined geothermal–hydrocarbon system for production and storage of energy resources. E3S Web of Conferences, 280, Article 01001. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128001001.

Fyk, M. I., Sinkevych, I. V., Rymchuk, D. V., & Fyk, I. M. (2025). Determination of gas condensate well production rate using a system of inflow equations, reservoir depletion, and a modified Adamov formula. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1491(1), 012070. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1491/1/012070.

Fyk, M. I. (2026). Seasonal underground heat storage in depleted sandy-glycol- and brine-type hydrocarbon reservoirs with nano-insulated heat-carrier shells: Concept and preliminary techno-economic assessment. Geotechnologies, Volume 10 (2026), 20–42. https://repository.kpi.kharkov.ua/bitstreams/58157820-af9f-4c85-a944-91b9b86ed23f/download .

Fyk, M. I., Levoniuk, S. M., & Fyk, I. M. (2025). Tekhniko-ekonomichna otsinka realizatsii kontseptu promyslovoho saitu enerhoheneratsii na bazi heotermalno-vuhlevodnevoi sverdlovyny Yefremivskoho HKR [Techno-economic assessment of implementing the concept of an industrial energy generation site based on a geothermal–hydrocarbon well of the Yefremivske gas-condensate field]. In D. V. Miroshnychenko (Comp.), Suchasni tekhnolohii pererobky palnykh kopalyn: Tezy dopovidei 8-yi Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii (April 16-17, 2025) (pp. 191–193). Kharkiv, Ukraine: National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”. https://repository.kpi.kharkov.ua/bitstreams/e75e37fb-b552-4fd2-9680-9055d8ab459d/download.

УДК 622.24:004.8

USE OF NEURAL NETWORKS FOR REAL-TIME DETERMINATION OF DRILLING FLUID RHEOLOGICAL PROPERTIES

Khomenko V., *Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor,*
ORCID ID 0000-0002-3607-5106, inteldriller@gmail.com;
Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

Rheological properties of drilling fluids (plastic viscosity, yield point and gel strength) critically affect drilling efficiency and wellbore safety. Conventional measurements with a Fann viscometer and a Marsh funnel are discrete, labour-intensive and cannot track rapid changes of fluid properties under high temperature and pressure. This paper proposes a continuous estimation approach based on neural models (attention-augmented LSTM and XGBoost) trained on surface-sensor data. Experimental validation showed that the network predicts viscosity with RMSE of 0.42 cP for water-based muds and 0.67 cP for oil-based muds, outperforming linear regression (0.85 and 1.12 cP, respectively). The method can reduce non-productive time associated with fluid treatment by 15–30 % and can be integrated into digital drilling systems.

Keywords: drilling fluid, rheology, neural networks, real time, plastic viscosity, yield point, machine learning.

ВИКОРИСТАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ РЕОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ БУРОВИХ РОЗЧИНІВ У РЕАЛЬНОМУ ЧАСІ

Хоменко В.Л., *к. техн., н., доцент,*
ORCID ID 0000-0002-3607-5106, inteldriller@gmail.com,
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

Реологічні властивості бурових розчинів (пластична в'язкість, динамічне напруження зсуву та статичне напруження зсуву) критично впливають на ефективність буріння та безпеку стовбура свердловини. Традиційні вимірювання за допомогою віскозиметра Fann і воронки Марша є дискретними, трудомісткими і не здатні відстежувати швидкі зміни властивостей розчину за високих температур і тисків. У цій роботі запропоновано підхід до безперервного оцінювання на основі нейронних моделей (LSTM з механізмом уваги та XGBoost), навчених на даних поверхневих датчиків. Експериментальна валідація показала, що мережа прогнозує в'язкість із RMSE 0,42 сП для розчинів на водній основі та 0,67 сП для розчинів на вуглеводневій основі, перевершуючи лінійну регресію (0,85 та 1,12 сП відповідно). Метод дозволяє скоротити непродуктивний час, пов'язаний з обробкою бурового розчину, на 15–30 % і може бути інтегрований у системи цифрового буріння.

Ключові слова: буровий розчин, реологія, нейронні мережі, реальний час, пластична в'язкість, динамічне напруження зсуву, машинне навчання.

Introduction. Drilling fluid performs a set of critical functions during well construction: cuttings transport to surface, maintenance of hydrostatic pressure, cooling and lubrication of the bit, wellbore stability, and prevention of lost circulation and kicks. The effectiveness of these functions depends directly on the rheological characteristics of the fluid – plastic viscosity (*PV*), yield point (*YP*), gel strength and the flow-behaviour index *n*. Departure of these parameters from the design window reduces hole cleaning, increases equivalent circulating density and raises the probability of stuck pipe, losses or influx (Kuttybayev, et al., 2025).

As the well is deepened, rheological properties change continuously under the influence of temperature, pressure, cuttings accumulation, dilution by formation fluids and degradation of polymer additives. Conventional control is based on periodic laboratory measurements: density and Marsh-funnel viscosity every 15–30 minutes, and a full rheological profile once a day. The resulting time lag between the actual change of properties and a corrective decision is incompatible with the rate of change observed in high-temperature, high-pressure (HTHP) and extended-reach wells (Muratova, et al., 2025).

Modern automated systems already provide continuous readings from surface sensors: fluid density (ρ), inlet and outlet temperature (T_1, T_2), flow rate (Q) and standpipe pressure (P). Raw measurements, however, only describe the current hydraulic state. They do not

yield plastic viscosity, yield point or a short-term forecast. The practical task is therefore to recover rheological parameters from the sensor stream in real time and to anticipate their change over a horizon of tens of minutes (Yagmur, et al., 2026).

Linear and empirical correlations between funnel viscosity and Bingham parameters are widely used, but they degrade when the fluid formulation, temperature or solids content changes. Neural models are better suited to the nonlinear, partially observed mapping between surface measurements and laboratory rheology (Gasser, et al., 2025). Artificial neural networks have already been shown to predict water-based fluid rheology (Avcı, 2018) and invert-emulsion fluid properties; reviews confirm the same trend for nano-based fluids (Gouda, et al., 2021). High-frequency flowline measurements can serve as a virtual viscometer. The present work develops and validates such a method for both water-based and oil-based drilling fluids, using surface sensors and a hybrid temporal model (Muratova, et al., 2026).

Main material. The aim of the work is to develop and validate a neural-network method for real-time determination of drilling-fluid rheological properties from surface-sensor data.

The following tasks were solved: justification of the model architecture; formation of a training set from laboratory and field data; comparative assessment of accuracy against linear regression; and testing on a full-scale circulation loop under conditions that imitate cuttings influx, dilution and thermal degradation.

The experimental base comprised a full-scale fluid loop and field records from three directional wells: an onshore shale-gas well and an offshore HTHP well. Laboratory reference values were obtained with a rotational viscometer (Fann-type, 600/300 r/min and gel readings at 10 s and 10 min) and a Marsh funnel. These reference values were time-aligned with the surface-sensor stream.

Input features were density ρ, temperatures T_1 and T_2, flow rate Q, standpipe pressure P, and, where installed, the reading of an in-line viscometer. Derived features included the temperature difference across the well, a simple hydraulic resistance index P/Q, and short rolling statistics (mean and standard deviation over 5 and 15 minutes). Target variables were plastic viscosity PV, yield point YP, Marsh-funnel viscosity FV and gel strength (Gel 10 s / 10 min).

The hybrid architecture has two components. An XGBoost ensemble performs a static mapping from the current feature vector to the rheological targets and is robust to mixed continuous and categorical inputs (fluid type, additive class). An attention-augmented LSTM consumes the same features as a time series and accounts for the delayed response of the circulating system. Attention weights emphasise intervals that precede a change in funnel viscosity. Temperature and pressure corrections, consistent with the expected direction of viscosity change, are applied as physically informed residual terms so that the network does not contradict known trends when it extrapolates.

Models were trained on a time-ordered split: earlier circulation intervals for training, later intervals and a separate well for testing. Metrics were root-mean-square error (RMSE) in centipoise and the coefficient of determination R^2. Linear regression on the same features was the baseline.

Comparative accuracy on the held-out test set is given in Table 1. The proposed network reduces RMSE by about half relative to linear regression for both fluid classes. The gain is consistent with earlier neural estimates for water-based and invert-emulsion fluids and with flowline-based virtual viscometers.

Table 1

Comparison of accuracy of the neural-network model and linear regression

Drilling fluid type	Model	RMSE, cP	R^2
Water-based	Linear regression	0.85	0.91
Water-based	Proposed neural network	0.42	0.97
Oil-based	Linear regression	1.12	0.88
Oil-based	Proposed neural network	0.67	0.95

Under dynamic events that imitate cuttings influx, dilution and thermal degradation, RMSE rose to 0.58 cP for water-based muds and 0.79 cP for oil-based muds, remaining below the linear baseline. Oil-based fluids are harder to predict because of a stronger temperature dependence of the continuous phase and a wider range of emulsifier response.

Figure 1 compares measured and predicted Marsh-funnel viscosity over a 12-hour drilling interval. The model follows both gradual trends and step changes associated with treatments and circulation breaks. For forecast horizons up to 60 minutes, R^2 remained above 0.95 and directional accuracy (correct sign of the change) reached 90 %. A usable forecast was retained up to 120 minutes, which is sufficient to schedule a treatment before the property leaves the operating window.

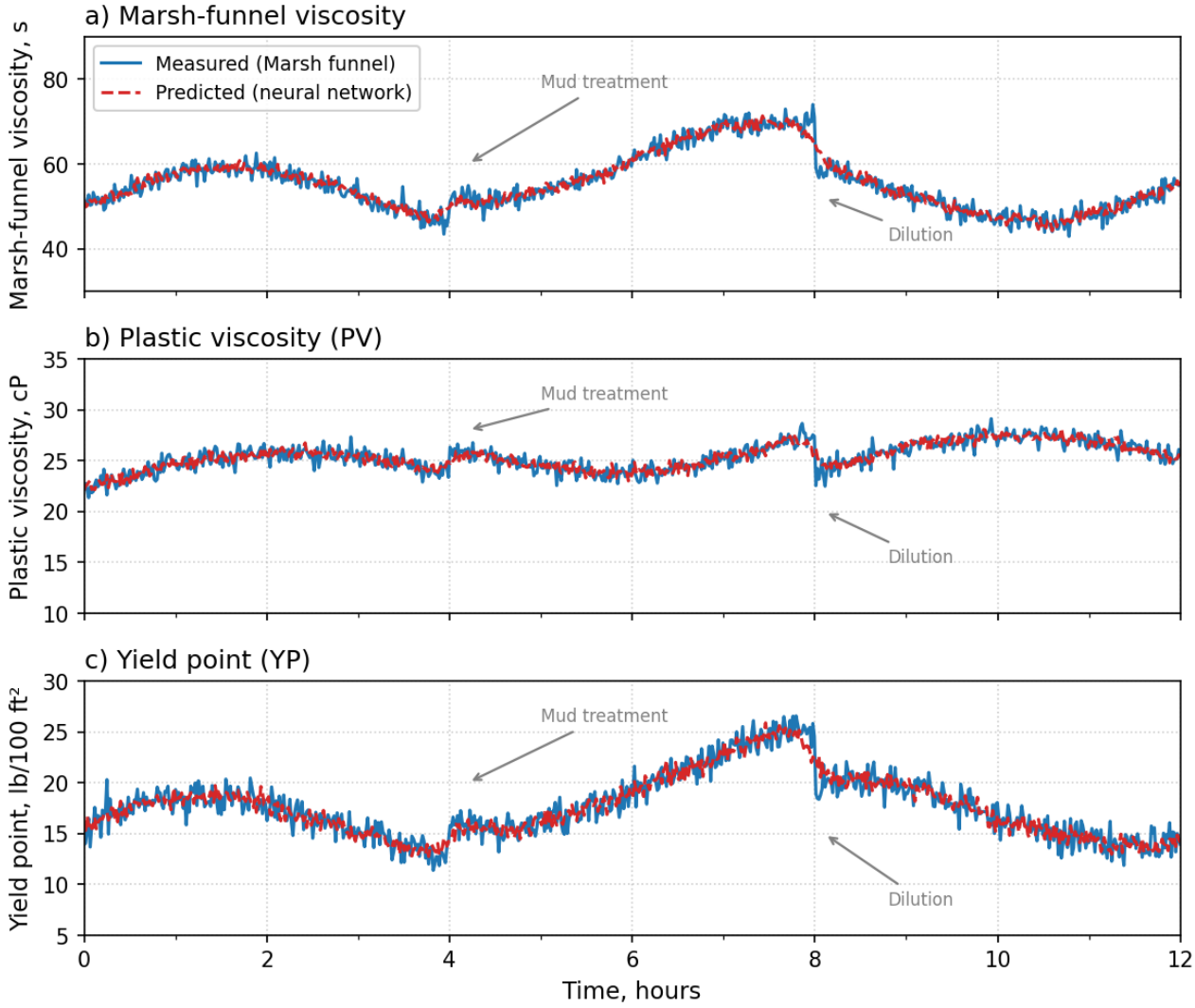


Fig. 1. Comparison of measured and predicted rheological parameters over a 12-hour drilling interval

The scientific novelty of the work consists in three points. First, a hybrid XGBoost and attention-augmented LSTM architecture is applied to real-time drilling-fluid rheology, so that static correlations and temporal dynamics are estimated together, extending static ANN

models and sensor-based monitoring. Second, physically informed temperature and pressure corrections are embedded in the pipeline, which improves interpretability and stability when drilling conditions change. Third, the method was checked on a full-scale loop and on field data, including HTHP wells, rather than on laboratory batches alone.

The practical effect is a shift from reactive to proactive fluid control. With a forecast horizon of up to two hours, treatment can be started before funnel viscosity or yield point leaves the design range. On the basis of the observed frequency of unplanned treatments, non-productive time associated with fluid conditioning can be reduced by 15–30 %. The estimator uses sensors that are already present on most rigs and can be added to an existing fluid-logging station.

Limitations follow from sensor quality and from formulation changes. A biased density or flow measurement propagates into PV and YP. A substantial change of the fluid recipe requires recalibration or at least a short fine-tuning set. Downhole rheology is not observed directly; integration of downhole pressure and temperature, and of automated dosing, is the next step.

Conclusions. The study addressed the problem of discrete and delayed rheological control of drilling fluids. A hybrid neural-network approach was developed to estimate plastic viscosity, yield point and Marsh-funnel viscosity in real time from surface-sensor data. The method was validated on a full-scale circulation loop and on field data, including HTHP wells. The main findings and their implications are summarised below.

1. A neural-network method for continuous real-time determination of drilling-fluid rheological properties from surface-sensor data has been developed. The estimator uses sensors already available on most rigs and can be integrated into existing fluid-logging stations.

2. The hybrid model (XGBoost + attention-augmented LSTM) predicts plastic viscosity and yield point with substantially higher accuracy than linear regression: RMSE 0.42–0.67 cP versus 0.85–1.12 cP on water-based and oil-based muds. The improvement is consistent across both mud types and remains stable under dynamic events such as cuttings loading, dilution and thermal degradation.

3. The method produces forecasts with a horizon of up to 120 minutes ($R^2 > 0.95$ and 90 % directional accuracy within 60 minutes), which supports proactive fluid management and a 15–30 % reduction of related non-productive time. The shift from reactive to proactive control allows treatment to begin before funnel viscosity or yield point leaves the design range.

4. The results can be used in digital drilling systems and integrated into existing fluid-logging stations, provided that the model is recalibrated when the fluid formulation changes. Limitations follow from sensor quality and from formulation changes: a biased density or flow measurement propagates into PV and YP, and downhole rheology is not observed directly.

The proposed neural-network methodology offers a practical and accurate tool for real-time drilling-fluid rheology monitoring. Its accuracy, forecast horizon and compatibility with existing rig instrumentation make it a viable step toward proactive, data-driven fluid control. Future work should focus on integrating downhole pressure and temperature measurements and automated dosing systems to further improve robustness and autonomy.

References

Avcı, E. (2018). An artificial neural network approach for the prediction of water-based drilling fluid rheological behaviour. *International Advanced Researches and Engineering Journal, 2*(2), 124–131. https://izlik.org/JA23ET36BC

Gasser, M., Abdelhafiz, M. M., Yehia, T., et al. (2025). Can artificial intelligence and machine learning predict the performance of nano-based drilling fluids? A review. *Trends in Sciences, 22*(6), 9686. https://doi.org/10.48048/tis.2025.9686

Gouda, A., Khaled, S., Gomaa, S., & Attia, A. M. (2021). Prediction of the rheological properties of invert emulsion mud using an artificial neural network. *ACS Omega, 6*(48), 32948–32959. https://doi.org/10.1021/acsomega.1c04937

Kuttybayev, A., Khomenko, V., Pashchenko, O., et al. (2025). Application of sensor technologies for automated determination of rheological properties of drilling fluids. *STEF92 Technology*. https://doi.org/10.5593/sgem2025v/4.2/s06.23

Muratova, S., Khomenko, V., Pashchenko, O., & Tavassarov, K. (2026). Development of real-time forecasting methodology for drilling fluid property changes based on surface sensor data. *Engineering for Rural Development*. https://doi.org/10.22616/erdev.2026.25.tf229

Muratova, S., Khomenko, V., Pashchenko, O., et al. (2025). Development of algorithms for continuous monitoring of drilling fluid viscosity in dynamic condition. *Proceedings of 25th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM, 25*(4.2), 221–228. https://doi.org/10.5593/sgem2025v/4.2/s06.24

Yagmur, O. M., Kulga, B., Artun, E., & Gucuyener, I. H. (2026). Virtual viscometer: Machine learning assisted estimation of drilling fluid rheology from high-frequency flowline measurements. *SPE Europe Energy Conference and Exhibition*. https://doi.org/10.2118/233298-MS

УДК 550.8

ОСОБЛИВОСТІ ПРОВЕДЕННЯ ТА ОБРОБКИ ВЕРТИКАЛЬНОГО СЕЙСМІЧНОГО ПРОФІЛЮВАННЯ ЗА РІЗНИХ УМОВ РЕЄСТРАЦІЇ

Черкащенко М.О., *m.cherkashchenko@scg.in.ua;*
Скорик О.В., *o.skoryk@scg.in.ua,*
ТОВ «СЕРВІСНА КОМПАНІЯ «ГОРИЗОНТИ», Львів, Україна

Вертикальне сейсмічне профілювання (ВСП) є одним із методів геофізичних досліджень свердловин, у якому сейсмічні хвилі збуджуються джерелом на поверхні, а реєструються спеціальними приймачами (геофонами) безпосередньо у стовбурі свердловини. Результати обробки та інтерпретації даних ВСП використовуються для уточнення швидкісної моделі середовища, прив'язки до сейсмогеологічних границь, встановлення відповідності між часовими та глибинними параметрами даних наземної сейсморозвідки, а також для дослідження навколосвердловинного простору.

Характер отриманого хвильового поля та можливості подальшої обробки й інтерпретації даних ВСП значною мірою залежать від типу стовбура свердловини, її просторової орієнтації, умов реєстрації та геометрії розташування джерела і приймача. Особливого значення ці фактори набувають під час проведення ВСП у відкритих та обсаджених стовбурах, вертикальних і похило-скерованих свердловинах.

У роботі наведено результати порівняльного аналізу даних ВСП, отриманих у двох свердловинах одного родовища, що відрізнялися типом стовбура, просторовою орієнтацією та геометрією проведення досліджень. Розглянуто особливості зареєстрованих хвильових полів та вплив вищезазначених факторів на точність розрахунків і якість міграційних розрізів за результатами ВСП.

Ключові слова: Вертикальне сейсмічне профілювання, міграційні розрізи

PECULIARITIES OF VERTICAL SEISMIC PROFILING ACQUISITION AND PROCESSING UNDER DIFFERENT CONDITIONS

Cherkashchenko M., *m.cherkashchenko@scg.in.ua;*
Skoryk O., *o.skoryk@scg.in.ua,*
"SERVICE COMPANY "GORYZONTY" LLC, Lviv, Ukraine

Vertical Seismic Profiling (VSP) is a borehole seismic method in which seismic waves are generated by a source at the surface and recorded by specialized receivers (geophones) directly within the wellbore. VSP data processing and interpretation are used to refine the subsurface velocity model, establish ties to seismogeological boundaries, determine the time-depth relationship of surface seismic data, and investigate the near-wellbore environment.

The characteristics of the recorded wavefield and the possibilities for further processing and interpretation of VSP data depend significantly on the wellbore type, its spatial orientation, recording conditions, and the geometry of the source and receiver arrangement. These factors are particularly important when conducting VSP in open and cased holes, as well as in vertical and deviated wells.

This study presents the results of a comparative analysis of VSP data acquired in two wells within the same field that differed in wellbore type, spatial orientation, and survey geometry. The characteristics of the recorded wavefields and the influence of these factors on the accuracy of calculations and the quality of migration sections obtained from VSP data are analyzed.

Keywords: Vertical Seismic Profiling (VSP), migration

Вступ. Вертикальне сейсмічне профілювання (ВСП) є одним із методів свердловинної сейсморозвідки, що дає змогу отримувати інформацію про поширення сейсмічних хвиль у геологічному середовищі на різних глибинах. Реєстрація хвильового поля безпосередньо у стовбурі свердловини забезпечує детальнішу характеристику сейсмічних сигналів у навколосвердловинному просторі та створює можливості для уточнення швидкісної моделі середовища, встановлення часово-глибинної відповідності для даних поверхневої сейсморозвідки та уточнення просторового положення геологічних об’єктів.

Ефективність проведення, обробки та інтерпретації ВСП значною мірою визначається умовами реєстрації сейсмічних даних. До основних факторів, що впливають на характер отриманого хвильового поля та можливості його подальшої обробки, належать тип стовбуру свердловини, її просторове положення, положення джерела сейсмічних хвиль відносно свердловини та геометрія спостережень.

Геометрія спостережень має особливе значення під час виконання ВСП у вертикальних та похило-скерованих свердловинах. Для похило-скерованих свердловин просторове положення стовбура може забезпечувати додаткові геометричні умови, сприятливі для виконання міграційних перетворень. У вертикальних свердловинах для отримання додаткової просторової інформації може виникати необхідність використання виносних пунктів збудження, що дає змогу розширити геометрію спостережень.

Окремої уваги потребує порівняння результатів ВСП, отриманих у відкритому та обсадженому стовбурах. Взаємодія сейсмічних хвиль зі стінками свердловини, обсадною колоною та навколосвердловинними умовами може впливати на характер зареєстрованого хвильового поля та зумовлювати появу або посилення окремих типів хвиль.

Мета роботи. Визначення впливу стовбура свердловини та геометрії спостережень на характер зареєстрованого хвильового поля, точність розрахунків і якість міграційних розрізів за результатами ВСП.

Фактичний матеріал та методологія досліджень. Для досягнення поставленої мети було проаналізовано дані ВСП, отримані у двох свердловинах одного родовища.

У свердловині № 1 дослідження виконано в обсадженому стовбурі похило-скерованої свердловини з використанням одного пункту збудження, розташованого за 40 м від устя. Відхід свердловини становив 653 м. Така траєкторія сформувала додаткову просторову складову геометрії спостережень для подальшої обробки та формування міграційного розрізу.

У свердловині № 2 дослідження виконано у відкритому стовбурі вертикальної свердловини з глибини 700 м. Оскільки геометрія свердловини та геологічна будова ділянки не створювали умов для отримання міграційного розрізу достатньої протяжності з одного пункту збудження, дослідження проведено з двох пунктів: ближнього, розташованого за 42 м, та виносного, розташованого за 642 м від устя. Використання виносного пункту збудження забезпечило отримання додаткової просторової інформації та сформувало необхідні умови для отримання міграційного рохрізу.

У результаті аналізу зареєстрованих хвильових полів у досліджуваних свердловинах виявлено суттєві відмінності. В інтервалі відккритого стовбуру свердловини № 2 суттєво зросли кількість та інтенсивність хвиль-завад різного типу, що ускладнює виділення корисних сейсмічних сигналів. Крім того, змінилися перші вступи прямої падаючої хвилі: зокрема, форма сигналу та зміщення сигналів один відносно одного, що безпосередньо впливає на точність розрахунку швидкостей та інших параметрів.

Фінальним етапом обробки даних ВСП стало отримання міграційних розрізів, наведених на рис. 1. На міграційному розрізі свердловини № 2 позначились умови реєстрації у відкритому стовбурі: зображення має відмінності в амплітуді відбиваючих горизонтів. Незважаючи на це, в обох свердловинах отримано міграційні розрізи високої роздільної здатності, що дозволили уточнити результати наземної сейсморозвідки: зокрема, уточнено часово-глибинну відповідність між свердловинними та наземними сейсмічними даними, визначено значення часової поправки та уточнено геологічну структуру.

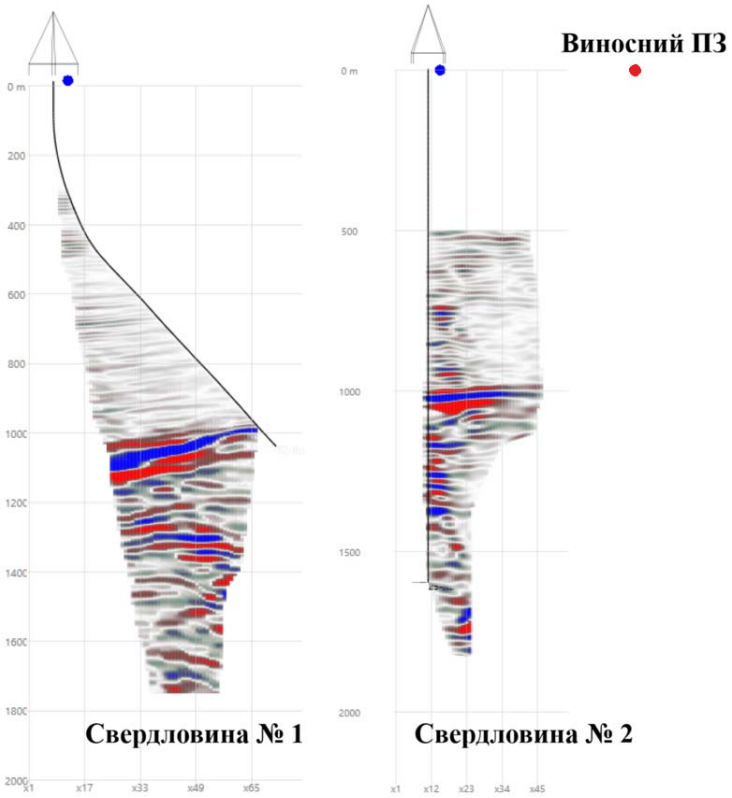


Рис. 1. Міграційні розрізи ВСП (положення пункту збудження позначено точкою: ближній — синього кольору, виносний — червоного)

Висновки. Встановлено, що тип стовбуру свердловини безпосередньо впливає на характер зареєстрованого хвильового поля та точність розрахунків: реєстрація у відкритому стовбурі супроводжується зростанням кількості й інтенсивності хвиль-завад, а також зміною форми та зсувом перших вступів, що знижує точність розрахунку швидкостей та інших параметрів. Геометрія спостережень визначає можливість отримання міграційного розрізу достатньої протяжності: у похило-скерованій свердловині необхідну геометрію забезпечує сама траєкторія стовбура, тоді як у вертикальній свердловині для цього необхідний додатковий (виносний) пункт збудження. Незважаючи на відмінності умов реєстрації, застосування процедури міграції дозволило отримати якісні міграційні розрізи в обох свердловинах, уточнити результати наземної сейсморозвідки та частково компенсувати несприятливі умови реєстрації відповідними методами обробки.

Список використаних джерел:

1. Леслі Хаттон, Майкл Уердінгтон, Джон Мейкин, 1985р. Сейсморозвідка.
2. Avalon Sciences Ltd, Geochain course for field engineers.
3. Hardage, B.A. Acquiring Shear-Wave Data in Seismic Programs // Search and Discovery. – 2011. – Article #40701.
4. Ozdogan Yilmaz, 1987p. Seismic data processing.

УДК 622.331:620.92(477)

ВИДОБУТОК ТОРФУ ЯК ОСНОВА ЕНЕРГЕТИЧНОЇ НЕЗАЛЕЖНОСТІ УКРАЇНИ

***Капустюк А.А.*[1]**, *peat.association@gmail.com,*
***Радзій В.Ф.*[2]**, *к. геогр. н., доцент*, *ORCID ID 0000-0001-8757-4944, radzij@vnu.edu.ua,*
***Расюн В.Л.*[2]**, *аспірант, ORCID ID 0000-0003-2053-7561, vityokko@vnu.edu.ua,*
1 – Українська Торфова Асоціація (УТА), Комунальне підприємство «Волиньприродресурс» Волинської обласної ради, Луцьк, Україна,
2 – Волинський національний університет імені Лесі Українки, Луцьк, Україна

Досліджено сучасний стан, правові засади та перспективи управління торфовими ресурсами України. Розмежовано поняття торфовищ, торфових боліт і торфових родовищ, визначено їх екологічне та економічне значення. Особливу увагу приділено наслідкам осушення торфовищ, зокрема деградації екосистем, підвищенню пожежної небезпеки та зростанню викидів парникових газів. Проаналізовано вплив сучасних законодавчих змін, зокрема Постанови Кабінету Міністрів України від 06.05.2026 № 579, на розвиток торфовидобувної галузі, використання та охорону торфових територій. Узагальнено міжнародний досвід управління торфовими ресурсами у Фінляндії, Естонії, Латвії, Польщі та Канаді. Запропоновано диференційований підхід до управління торфовими територіями, що поєднує збереження природних торфовищ, відновлення деградованих земель і контрольоване видобування торфу з обов'язковою рекультивацією та відновленням водного режиму.

Ключові слова: торфовища, торфові родовища, торфовидобування, рекультивація, ренатуралізація, палюдикультура.

PEAT EXTRACTION AS A BASIS FOR UKRAINE'S ENERGY INDEPENDENCE

***Kapustiuk A.*[1]**, *peat.association@gmail.com,*
***Radzii V.*[2]**, *Cand. Sci. (Geogr.), Associate Professor, ORCID ID 0000-0001-8757-4944, radzij@vnu.edu.ua,*
***Rasun V.*[2]**, *postgraduate, ORCID ID 0000-0003-2053-7561, vityokko@vnu.edu.ua,*
1 – Ukrainian Peat Association (UPA), Municipal Enterprise Volynpryrodresurs of the Volyn Regional Council, Lutsk, Ukraine,
2 – Lesya Ukrainka Volyn National University, Lutsk, Ukraine

The study examines the current state, legal framework, and prospects for peat resource management in Ukraine. The concepts of peatlands, peat bogs, and peat deposits are distinguished, and their ecological and economic significance is defined. Particular attention is paid to the consequences of peatland drainage, including ecosystem degradation, increased fire risk, and rising greenhouse gas emissions. The impact of recent legislative changes, in particular the Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 579 of May 6, 2026, on the development of the peat extraction industry, as well as on the use and protection of peatland areas, is analyzed. International experience in peat resource management in Finland, Estonia, Latvia, Poland, and Canada is reviewed. A differentiated approach to peatland management is proposed, combining the conservation of natural peatlands, the restoration of degraded lands, and controlled peat extraction with mandatory reclamation and hydrological restoration.

Keywords: peatlands, peat deposits, peat extraction, reclamation, renaturalization, paludiculture.

Вступ. Енергетична безпека України в умовах повномасштабної війни дедалі більше залежить від здатності держави ефективно використовувати власні паливно-енергетичні ресурси. Натомість зберігається значна залежність від імпорту твердого палива: у 2024 році імпорт кам'яного вугілля та антрациту становив 1,812 млн т на суму понад 402 млн дол. США, а за січень-листопад 2025 року зріс до 4,134 млн т вартістю майже 930 млн дол. США. Водночас традиційна вугільна база України зазнала істотних втрат через російську агресію. Якщо у 2013 році в країні функціонувало 105 державних шахт, то у 2025 році залишилося лише 15 державних, видобуток на яких скоротився більш ніж у 14 разів. У 2025 році базовим планом урядової програми було закладено видобуток на рівні 1,031 млн тонн, проте через бойові дії та наближення лінії фронту на Донеччині досягнути даних показників не вдалось.

В умовах війни одним із рішень стабілізації енергетичного сектору набуває розвиток власних паливно-енергетичних ресурсів, зменшення потреби і залежності від імпорту, підвищення енергетичної самодостатності регіонів. Енергетична безпека держави визначається не тільки загальним обсягом енергоресурсів, а й їхньою географічною доступністю, диверсифікацією постачання, можливістю швидкого відновлення видобутку та здатністю енергетичної системи працювати в умовах зовнішньої блокади.

Саме в цьому контексті торф має особливу перевагу: його родовища розташовані переважно у північних і західних регіонах України, тобто на територіях, які не були основним центром українського вуглевидобутку.

Україна має значний торфовий потенціал, який вона не використовує, значні запаси якого зосереджені на Поліссі — у Волинській, Рівненській, Житомирській, Чернігівській, Київській та частково у Сумській області. За даними Держгеонадр, оприлюдненими у виданні «Мінеральні ресурси України», на Поліссі було виявлено та розвідано 1056 торфових родовищ, що становили близько 42% усіх родовищ торфу України, а їхні геологічні запаси оцінювалися у 1,16 млрд тонн. Державним балансом корисних копалин наразі враховано понад 1500 родовищ торфу із загальними геологічними запасами близько 1,85-2,2 млрд т, з яких приблизно 760 млн т належать до промислово розвіданих. Проте фактичний рівень використання цього ресурсу залишається низьким: промислова розробка здійснюється лише на 43 родовищах, а щорічний видобуток становить близько 650 тис. т. При цьому близько 81 % видобутого торфу спрямовується на виробництво паливної продукції, а майже 96 % українських торфовищ представлені високоякісним низинним торфом, придатним для енергетичних і аграрних потреб.

Хоча торф не може повністю замінити кам’яне вугілля за своїми техніко-економічними характеристиками, він здатний стати важливим елементом диверсифікації паливного балансу України. Використання торфобрикетів і фрезерного торфу для потреб теплоенергетики, комунального господарства та окремих галузей промисловості сприятиме скороченню імпорту енергоносіїв, підвищенню енергетичної автономності територіальних громад і розвитку регіональної економіки. За умови модернізації виробничої бази, створення відповідної інфраструктури та залучення інвестицій торфова галузь може стати одним із чинників зміцнення енергетичної стійкості України в умовах воєнних і післявоєнних викликів.

Метою дослідження є обґрунтування ролі торфу як місцевого енергетичного ресурсу у забезпеченні енергетичної безпеки та зміцненні енергетичної незалежності України в умовах воєнних, економічних і кліматичних викликів. Для досягнення поставленої мети проаналізовано ресурсний потенціал торфових родовищ, сучасний стан торфовидобувної галузі, нормативно-правові засади її функціонування, законодавчі обмеження розвитку торфової галузі, екологічні аспекти використання торфу та міжнародний досвід управління торфовими ресурсами.

Методи дослідження. Теоретико-методологічною основою дослідження стали положення теорії енергетичної безпеки, концепції сталого розвитку, статистичні матеріали, нормативно-правові акти України та ЄС. Використано методи аналізу і синтезу, статистичний, порівняльно-правовий та системний методи дослідження.

Аналіз наукових джерел. Сучасні дослідження засвідчують, що торф розглядається не лише як місцевий енергетичний ресурс, а й як важливий компонент кліматичної та природоохоронної політики. Значна увага приділяється питанням енергетичного використання торфу, удосконаленню технологій його видобування й переробки, а також екологічним наслідкам осушення торфовищ [16, 17, 23–25]. Встановлено, що деградація торфових екосистем супроводжується порушенням водного режиму, втратою біорізноманіття та збільшенням викидів парникових газів, що обумовлює необхідність їх рекультивації та повторного обводнення [5, 6, 11, 12].

Міжнародні дослідження підтверджують ключову роль торфовищ у накопиченні вуглецю та регулюванні клімату, водночас сучасні методи дистанційного зондування

значно підвищують ефективність моніторингу їх стану [1–3, 13–15]. Тому сучасна наукова думка орієнтується на концепцію сталого управління торфовими ресурсами, яка поєднує енергетичні, екологічні та кліматичні цілі.

Виклад основного матеріалу. Україна має значний ресурсний потенціал торфу, однак його промислове освоєння залишається обмеженим. Аналіз ресурсної бази ускладнюється ототожненням понять торфовищ, боліт, водно-болотних угідь і торфових родовищ, які характеризують різні природні та господарські об’єкти [17, 19]. Загальна площа торфовищ оцінюється приблизно у 3 млн га, тоді як площа перезволожених і заболочених земель становить близько 5,4 млн га, з яких понад 3,3 млн га було осушено [17, 24]. За оцінками ПРООН і природоохоронних організацій, близько 80 % торфовищ України перебувають у порушеному або деградованому стані [17, 24].

Торфове родовище є геологічно розвіданим об’єктом із визначеними запасами торфу, тоді як торфовище охоплює ширшу територію його поширення, а торфове болото являє собою природну водно-болотну екосистему, пов’язану з процесами торфоутворення [17, 24]. Недостатнє розмежування цих понять часто призводить до хибного протиставлення торфовидобування й охорони боліт, хоча різні категорії торфових територій потребують диференційованих підходів до використання та відновлення.

Сучасний стан торфових земель значною мірою сформувався під впливом масштабної осушувальної меліорації 1960–1990-х років, яка суттєво змінила гідрологічний режим Полісся [24]. Зниження рівня ґрунтових вод спричиняє мінералізацію торфу, скорочення потужності торфового шару, зростання викидів парникових газів і пожежної небезпеки [6, 17]. За таких умов ефективне управління торфовими ресурсами має поєднувати охорону природних торфовищ, ренатуралізацію деградованих територій, раціональне використання придатних до розробки родовищ та відновлення земель після завершення видобування.

Враховуючи екологічне, економічне та ресурсне значення торфовищ, важливого значення набуває аналіз нормативно-правових засад їх використання та охорони. Формування ефективної системи управління торфовими ресурсами потребує узгодження положень земельного, природоохоронного та надрового законодавства. У цьому контексті особливої уваги заслуговує Постанова Кабінету Міністрів України № 579 від 6 травня 2026 року, яка встановлює особливості правового режиму використання земель під торфовищами та визначає допустимі види їх цільового призначення. Саме аналіз її положень дає змогу оцінити потенційний вплив нових правових механізмів на охорону торфових екосистем і перспективи розвитку торфовидобувної галузі України.

Постанова Кабінету Міністрів України № 579 «Про особливості правового режиму використання земель під торфовищами та можливі види їх цільового призначення», ухвалена 6 травня 2026 року, запроваджує спеціальний правовий режим використання земельних ділянок, у межах яких розташовані торфовища. Документ встановлює, що при формуванні земельних ділянок або зміні їх цільового призначення, якщо в їхніх межах є торфовища, вид цільового призначення має визначатися виключно в межах розділів 04, 05, 06, 08, 09 та 10 Класифікатора видів цільового призначення земельних ділянок (природно-заповідний фонд; інше природоохоронне призначення; оздоровче призначення; історико-культурне призначення; лісогосподарське призначення; водний фонд; допускається сільськогосподарське використання; землі запасу) [22, 24].

Ключове значення має те, що серед дозволених категорій відсутній розділ 11 Класифікатора, до якого належать землі промисловості та землі, пов’язані з користуванням надрами. до якого належать землі промисловості та інші землі, пов'язані з видобуванням корисних копалин. Саме ця обставина створює дуже серйозну проблему для майбутнього торфовидобування та існування галузі торфовидобутку в Україні взагалі. Створено земельно-правовий бар'єр для реалізації нових проєктів видобування торфу на землях, які підпадатимуть під визначений постановою особливий режим [18, 19].

Земельний кодекс України встановлює, що надання земельних ділянок для потреб, пов'язаних із користуванням надрами, відбувається після оформлення права користування надрами, водночас земельні права та право користування надрами пов'язані між собою.

Отже, виникає системна проблема: спецдозвіл на надра → необхідність реалізації права користування →необхідність правового режиму земель → Постанова №579 обмежує даний допустимий вид цільового призначення земель під торфовищами. Якщо конкретна ділянка має статус землі з торфовищем з особливим правовим режимом, але її цільове призначення неможливо привести у відповідність до використання для цілей видобування, галузь втратить можливість освоювати нові родовища [18, 19].

Таким чином, постанова № 579 потенційно формує додаткові обмеження для освоєння нових торфових родовищ у разі поширення на них спеціального режиму використання земель під торфовищами. За відсутності механізмів узгодження земельного та надрового законодавства це може ускладнити реалізацію нових проєктів у сфері торфовидобування та вплинути на ресурсне забезпечення галузі [18, 19].

Водночас метою постанови є посилення охорони торфовищ як важливих природних екосистем, які виконують водорегулювальну, кліматорегулювальну та природоохоронну функції. За оцінками міжнародних і природоохоронних організацій, значна частина торфовищ України перебуває у деградованому стані внаслідок тривалого осушення, що обумовлює необхідність їх охорони та відновлення [17, 24]. Тому державна політика має базуватися на збалансованому поєднанні екологічних і господарських інтересів.

Чому наслідки для існування торфової галузі України можуть бути критичними. Торфова галузь, як і будь-яка інша видобувна галузь, природно потребує поєднання двох правових компонентів: права на надра + можливості використання земельної поверхні, без цього видобутку не існує. То що робити з Постановою №579, яка частково вже набрала чинності, а основна дата набрання чинності визначена на 9 березня 2027 року, це поки той перехідний період, коли держава ще має можливість точково, враховуючи раціональний підхід, відкоригувати даний документ, уточнивши порядок його застосування та повернувши до нього 11 розділ Класифікатора видів цільового призначення земельних ділянок; створити інформаційний шар; провести інвентаризацію; визначити чинні родовища; визначити перспективні родовища; розділивши природні та деградовані торфовища, передбачити перехідні положення для проєктів, які перебувають на стадії геологічного вивчення або підготовки. Доцільним також є врегулювання особливостей використання земельних ділянок для видобування торфу в межах уже розвіданих або перспективних родовищ [17, 24].

Актуальність зазначених питань посилюється тим, що оновлена Загальнодержавна програма розвитку мінерально-сировинної бази України до 2030 року розглядає торф як окремий напрям розвитку ресурсного потенціалу держави. За таких умов державна політика повинна одночасно займатися збереження цінних торфових екосистем та забезпечувати раціональне використання промислових запасів торфу. Якщо земельний режим фактично перекриває можливість відкриття нових родовищ, то виникає питання узгодженості двох державних документів: Програма розвитку мінерально-сировинної бази до 2030 року проти правового режиму земель під торфовищами за Постановою №579. Саме ця невідповідність має бути усунута нормативно. Крім того, хоча торф наразі не включено до переліку стратегічних і критичних корисних копалин, він може розглядатися як важливий внутрішній енергетичний ресурс, здатний відігравати суттєву роль у зміцненні енергетичної безпеки держави за умови його раціонального та екологічно безпечного використання.

Оцінка перспектив розвитку торфовидобувної галузі України потребує врахування не лише національних законодавчих змін, а й практики держав, які мають значні запаси торфу та тривалий досвід його господарського використання. Міжнародний досвід свідчить, що сучасна політика управління торфовими ресурсами базується на поєднанні екологічних та економічних цілей.

Зокрема, Фінляндія має один із найбільших торфових ресурсів у Європі. За даними Європейського виконавчого агентства з питань клімату, інфраструктури та довкілля, торфовища займають близько 9,3 млн га, або майже третину території країни. Приблизно половина цих площ була осушена, переважно для потреб лісового господарства, зокрема близько 5 млн га використовуються у лісівництві. Водночас Фінляндія послідовно скорочує використання торфу в енергетиці в межах політики декарбонізації. За даними Statistics Finland, у 2025 році сукупне споживання викопного палива і торфу становило 344 PJ, що на 8% менше порівняно з попереднім роком, проте в перерахунку це все одно колосальних ≈ 22–24 млн тонн. Частка енергетичного торфу в енергобалансі країни знизилася до близько 4% при площі видобутку близько 40 000 га, тоді як 15–20 років тому вона становила 10–15 % при площі видобутку близько 54 тис. га. Проте скорочення енергетичного використання не означає згортання галузі. Торфовидобувні підприємства активно переорієнтовуються на виробництво рослинних субстратів, садових ґрунтів і підстилки для тваринництва. Під час Baltic Peat Producers Forum 2026 було оголошено про плани введення в експлуатацію додаткових 8 тис. га торфових родовищ до 2030 року. Bioenergia ry зараз активно перенаправляє діяльність підприємств на виробництво садових ґрунтів (рослинних субстратів) та підстилок для худоби. Оскільки кокосовий субстрат чи мінеральна вата коштують дорого, фінський торф залишається критично важливим для продовольчої безпеки та теплиць усієї Європи. Відпрацьовані площі, як правило, підлягають рекультивації шляхом висадки лісу, розміщення об’єктів відновлюваної енергетики - сонячних електростанцій або повторного обводнення.

Естонія зберігає один із найбільш розвинених торфовидобувних секторів у країнах Балтії. Офіційна статистика розглядає торф як важливу складову добувної промисловості, а зростання видобувної активності у 2025-2026 роках частково пов’язується зі збільшенням його видобутку. Важливе значення має і зовнішньоторговельний сектор: у 2025 році експорт торфової продукції з Естонії становив близько 195 млн євро.

Латвія також належить до провідних європейських виробників торфу. Державна статистика країни окремо обліковує видобування торфу, сапропелю та лікувальних грязей, а також показники виробництва, експорту, імпорту та споживання торфової продукції. Це свідчить про збереження торфової галузі як важливого сектора економіки навіть в умовах посилення екологічних вимог.

Польща демонструє збалансовану модель управління торфовими ресурсами. Наприкінці 2025 року балансові геологічні запаси торфу становили 99,395 млн м³, у тому числі 88,791 млн м³ сільськогосподарських та 10,602 млн м³ лікувальних торфів. Упродовж 2025 року було задокументовано шість нових родовищ із сумарним приростом запасів 1,817 млн м³. Водночас із березня 2025 року в країні діє стандарт GAEC 2, який передбачає посилений захист торфовищ і заболочених територій та обмежує створення нових осушувальних систем. Таким чином, Польща поєднує державний облік і використання торфових ресурсів із посиленням охорони цінних неосушених торфовищ.

Канада є одним із провідних світових виробників торфу. За даними Statistics Canada, у 2024 році обсяг його виробництва становив близько 2,16 млн т. Торф використовується переважно для виробництва садівничих і тепличних субстратів, а видобування супроводжується заходами з рекультивації та екологічного відновлення порушених територій.

Отже, міжнародний досвід свідчить, що сучасна політика управління торфовими ресурсами базується не на повній відмові від їх використання, а на поєднанні господарського освоєння родовищ із охороною цінних природних екосистем. Відмінності між країнами полягають насамперед у масштабах використання торфу, структурі ринку та екологічних обмеженнях, однак спільною тенденцією є посилення рекультивації та відновлення порушених торфових територій після завершення видобування.

З огляду на міжнародний досвід управління торфовими ресурсами, для частини осушених і деградованих торфових родовищ доцільним є впровадження поетапної моделі,

що поєднує господарське використання ресурсів із подальшим екологічним відновленням територій.

На першому етапі здійснюється геологічне вивчення родовища, під час якого визначаються запаси, потужність і якісні характеристики торфу, площа поширення покладів та технологічні умови їх освоєння. Другий етап передбачає комплексну екологічну оцінку території з урахуванням її природоохоронної цінності, гідрологічної ролі, впливу на суміжні землі та рівня пожежної небезпеки.

Господарське освоєння доцільне лише щодо деградованих територій із підтвердженими промисловими запасами торфу, за умови відсутності природоохоронних обмежень та негативного впливу на навколишні населені пункти. Після завершення видобування обов'язковим елементом є рекультивація, що включає формування рельєфу, регулювання меліоративної мережі, облаштування водорегулюючих споруд та відновлення рослинного покриву.

Завершальним етапом має стати ренатуралізація порушених земель шляхом підвищення рівня ґрунтових вод, повторного обводнення територій та відновлення водно-болотних екосистем. Важливим інструментом управління є цифровий моніторинг стану торфовищ із використанням супутникових технологій для контролю водного режиму, землекористування та пожежної ситуації. На повторно обводнених територіях перспективним напрямом може бути впровадження палюдикультури, зокрема вирощування очерету, рогозу, верби, вільхи та інших вологолюбних культур [17].

Для формування збалансованої державної політики у сфері управління торфовими ресурсами доцільно запровадити систему функціонального зонування, яка враховуватиме природний стан територій, ступінь їх деградації та господарський потенціал.

Зона 1. Природні торфовища. До цієї категорії належать неосушені території з природним водним режимом і високою природоохоронною цінністю. Для них має діяти режим збереження із забороною осушення та промислового видобування.

Зона 2. Деградовані торфовища. Охоплює осушені й порушені території, малопридатні для ефективного сільськогосподарського використання. Пріоритетним напрямом управління є ренатуралізація та повторне обводнення.

Зона 3. Промислові торфові родовища. Включає території із затвердженими запасами торфу, низькою природоохоронною цінністю та порушеним гідрологічним режимом. Для них допускається контрольоване видобування за умови обов'язкової рекультивації після завершення робіт.

Зона 4. Перспективні родовища. Це території з прогнозними запасами торфу, які потребують додаткового геологічного вивчення. Допускається проведення геологорозвідувальних робіт із дотриманням екологічних вимог.

Зона 5. Забудовані території. До цієї категорії належать населені пункти, транспортна та інженерна інфраструктура, промислові об'єкти. Основним завданням є підтримання безпечного водного режиму без масштабного повторного обводнення.

Та чи дійсно потрібно всі осушені торфовища повторно обводнювати? Саме тут потрібен інженерний підхід. Повернення води на всіх 3 млн га торфових територій неможливе. На частині територій після меліорації з'явилися: села; міста; житлові будинки; автомобільні дороги; залізниці; промислові об'єкти; сільськогосподарські поля; лісові насадження; інженерні мережі.

Масове підняття рівня води без попереднього моделювання може створити ризики: підтоплення; руйнування доріг; втрати врожаю; пошкодження інфраструктури; порушення роботи меліоративних систем. Тому кожна територія має оцінюватися окремо.

Ефективне управління торфовими територіями неможливе без проведення загальнодержавної інвентаризації осушених торфовищ. Для кожної ділянки доцільно сформувати цифровий паспорт, який міститиме інформацію про площу, потужність і запаси торфу, ступінь осушення та деградації, пожежний ризик, природоохоронну цінність, наявність інфраструктури населених пунктів, поточний статус території с/г землі, ліси,

наявність спецдозволу на надрокористування, врахування перспективи видобування, перспектива обводнення, ренатуралізації чи використання в межах палюдикультури.

Запровадження такої системи дозволить перейти від загальних дискусій щодо майбутнього торфовищ до управління конкретними територіями на основі об'єктивних даних. Водночас це створить передумови для залучення відповідальних надрокористувачів до реалізації повного циклу управління територіями: від видобування торфу на деградованих землях до забезпечення протипожежних заходів, підтримання водного режиму, проведення рекультивації та виконання зобов'язань щодо екологічного відновлення порушених екосистем.

Висновок. Ефективне управління торфовими ресурсами України має ґрунтуватися на диференційованому підході, який враховує природний стан територій, ступінь їх деградації та ресурсний потенціал. Природні неосушені торфовища повинні перебувати під пріоритетною охороною, тоді як деградовані осушені території потребують відновлення або раціонального господарського використання залежно від їхнього стану.

Дослідження показало, що для частини деградованих торфових родовищ перспективною є модель «геологічне вивчення - контрольоване видобування - рекультивація - повторне обводнення - відновлення екосистем», яка поєднує економічні та екологічні цілі. Міжнародний досвід підтверджує доцільність поєднання охорони цінних торфових екосистем із раціональним використанням промислових запасів торфу.

Отже, стратегічним принципом державної політики має стати: неосушені торфовища - зберігати; деградовані осушені торфовища - відновлювати або раціонально використовувати; промислові родовища - розробляти за умови обов’язкової рекультивації та відновлення водного режиму. Це не означає пріоритет економіки над природою, а передбачає диференційоване управління ресурсом, за якого природні екосистеми підлягають збереженню, а деградовані території отримують екологічно та економічно обґрунтований сценарій подальшого розвитку.

Список використаних джерел:

1. Antala M., Juszczak R., van der Tol C., Rastogi A. Impact of climate change-induced alterations in peatland vegetation phenology and composition on carbon balance. Science of the Total Environment. 2022. Vol. 827. Article 154294. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154294.
2. Arasumani M., Thiel F., Pham V. D., Hellmann C., Kaiser M., van der Linden S. Advancing peatland vegetation mapping by spaceborne imaging spectroscopy. Ecological Indicators. 2023. Vol. 154. Article 110665. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110665.
3. Beyer F., Jurasinski G., Couwenberg J., Grenzdörffer G. Multisensor data to derive peatland vegetation communities using a fixed-wing unmanned aerial vehicle. International Journal of Remote Sensing. 2019. Vol. 40, No. 24. P. 9103–9125. DOI: https://doi.org/10.1080/01431161.2019.1580825.
4. Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce według stanu na 31 XII 2025 r. Warszawa : Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, 2026. URL: https://www.pgi.gov.pl (дата звернення: 25.09.2026).
5. Boiaryn, M., Nekos, A., Radzii, V., Netrobchuk, I., Kotsun, L., & Lugowska, M. (2025). Impact of peat extraction from the peatlands of upper Pripyat basin on the environment. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series Geology. Geography. Ecology, (62), 401-411. https://doi.org/10.26565/2410-7360-2025-62-30.
6. Bonn A., Allott T., Evans M., Joosten H., Stoneman R. (Eds.). Peatland Restoration and Ecosystem Services: Science, Policy and Practice. Cambridge : Cambridge University Press, 2016. 493 p.
7. Energy supply and consumption 2025 / Statistics Finland. URL: https://www.stat.fi (дата звернення: 24.09.2026).

8. European Commission. EU Biodiversity Strategy for 2030. Brussels, 2020. URL: https://environment.ec.europa.eu/strategy/biodiversity-strategy-2030_en

9. European Commission. Nature Restoration Law. URL: https://environment.ec.europa.eu/topics/nature-and-biodiversity/nature-restoration-law_en

10. European Commission. The European Green Deal. Brussels, 2019. URL: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en

11. Evans C. D., Williamson J. M., Kacaribu F. et al. Overriding water table control on managed peatland greenhouse gas emissions. Nature. 2021. Vol. 593. P. 548–552. DOI: https://doi.org/10.1038/s41586-021-03523-1.

12. Günther A., Barthelmes A., Huth V. et al. Prompt rewetting of drained peatlands reduces climate warming despite methane emissions. Nature Communications. 2020. Vol. 11. Article 1644. DOI: https://doi.org/10.1038/s41467-020-15499-z .

13. Harris A., Charnock R., Lucas R. M. Hyperspectral remote sensing of peatland floristic gradients. Remote Sensing of Environment. 2015. Vol. 162. P. 99–111. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.01.029.

14. Joosten H., Tanneberger F., Moen A. (Eds.). Mires and Peatlands of Europe: Status, Distribution and Conservation. Stuttgart : Schweizerbart Science Publishers, 2017. DOI: https://doi.org/10.1111/rec.12865

15. Leifeld J., Menichetti L. The underappreciated potential of peatlands in global climate change mitigation. Nature Communications. 2018. Vol. 9. Article 1071. DOI: https://doi.org/10.1038/s41467-018-03406-6.

16. Sniezhkin Yu. F., Korinchuk D. M. Peat is an effective alternative fuel. Thermophysics and Thermal Power Engineering. 2022. Vol. 44, No. 3. P. 5–18. DOI: https://doi.org/10.31472/ttpe.3.2022.1 .

17. Wichtmann W., Denyshchyk O. Палюдикультура, досвід ЄС та перспективи впровадження в Україні. Київ : ПРООН в Україні, 2024. URL: https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/2024-09/paludiculture_compendium.pdf (дата звернення: 25.09.2026).

18. Земельний кодекс України : Закон України від 25 жовт. 2001 р. № 2768-III. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2768-14 (дата звернення: 25.09.2026).

19. Кодекс України про надра : Закон України від 27 лип. 1994 р. № 132/94-ВР. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/132/94-%D0%B2%D1%80 (дата звернення: 25.09.2026).

20. Про внесення змін до Загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 року : Закон України від 18 груд. 2024 р. № 4154-IX. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4154-20 (дата звернення: 25.09.2026).

21. Про затвердження переліків корисних копалин та компонентів стратегічного та критичного значення : Постанова Кабінету Міністрів України від 14 лип. 2025 р. № 845. URL: https://zakon.rada.gov.ua (дата звернення: 25.09.2026).

22. Про особливості правового режиму використання земель під торфовищами та можливі види їх цільового призначення : Постанова Кабінету Міністрів України від 06 трав. 2026 р. № 579. URL: https://zakon.rada.gov.ua (дата звернення: 25.09.2026).

23. Тимощук І. І., Мощич С. З., Єленець П. Г., Артеменко В. І. Виготовлення рідкого палива з торфу як чинник енергетичної безпеки України. Вісник НУВГП. Серія: Технічні науки. 2015. Вип. 4 (72). С. 258–265.

24. Україна потребує реформи поводження з торфовищами: звернення до Уряду та Міністерства захисту довкілля / WWF-Україна. 2025. URL: https://wwf.ua/?16768916/Ukraina-potrebuye-reformy-povodzhennya-torfovyshchamy-zvernennya-do-Uriadu-ta-Ministerstva-zakhystu-dovkillya (дата звернення: 25.09.2026).

25. Ярошовець-Баранова К. А., Вдовиченко А. І. Торф як альтернативне джерело енергії. Вісті Донецького гірничого інституту. 2022. № 2 (51). С. 136–141. URL: https://jdmi.donntu.edu.ua/wp-content/uploads/2023/02/13_yaroshovecz.pdf.

УДК 553.04

ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В СИСТЕМІ ГАЗОПОСТАЧАННЯ: МІЖНАРОДНИЙ ТА УКРАЇНСЬКИЙ ДОСВІД

***Шмідт В.П.**, аспірант, volodymyrshmidt@gmail.com;*
***Гораль Л.Т.**, д. екон. н., професор, liliana.goral@gmail.com;*
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Полтава, Україна
Карпатський національний університет імені Василя Стефаника, Івано-Франківськ, Україна

Розглянуто перспективи впровадження технологій штучного інтелекту в газорозподільні системи України для підвищення рівня безпеки та ефективності газопостачання споживачів. Проаналізовано міжнародний досвід застосування ШІ в енергетичному секторі. Обґрунтовано, що цифрова трансформація газорозподільної інфраструктури через впровадження ШІ-технологій є критично важливою для забезпечення надійного газопостачання та енергетичної незалежності України в умовах воєнного стану та повоєнної відбудови.

Ключові слова: штучний інтелект, газорозподільні системи, газопостачання, енергетична безпека, цифровізація, критична інфраструктура.

APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE GAS SUPPLY SYSTEM: INTERNATIONAL AND UKRAINIAN EXPERIENCE

***Shmidt V.**, postgraduate, volodymyrshmidt@gmail.com;*
***Horal L.**, Dr. Sci.(Econ.), Professor, liliana.goral@gmail.com;*
National University "Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic", Poltava, Ukraine
Vasyl Stefanyk Carpathian National University, Ivano-Frankivsk, Ukraine

The prospects of implementing artificial intelligence technologies into the gas distribution systems of Ukraine to enhance the safety and efficiency of gas supply to consumers are examined. The international experience of applying AI in the energy sector is analyzed. It is substantiated that the digital transformation of the gas distribution infrastructure through the implementation of AI technologies is critically important for ensuring a reliable gas supply and the energy independence of Ukraine under conditions of martial law and post-war reconstruction.

Keywords: artificial intelligence, gas distribution systems, gas supply, energy security, digitalization, critical infrastructure.

Вступ. Система газопостачання України охоплює понад 360 тисяч кілометрів розподільних газопроводів, які забезпечують газом близько 12 мільйонів домогосподарств та промислових споживачів. В умовах воєнного стану та необхідності забезпечення енергетичної незалежності особливої актуальності набуває питання модернізації газорозподільної інфраструктури через впровадження передових цифрових технологій. За даними досліджень, більшість компаній енергетичного сектору – понад 92% – вже інвестують у штучний інтелект, що призвело до зростання ринку ШІ в нафтогазовій галузі з 3,14 млрд доларів у 2024 році до прогнозованих 5,7 млрд доларів до 2029 року [1].

Методологія дослідження базується на комплексному підході, що включає системний аналіз міжнародного досвіду впровадження ШІ в газорозподільних мережах; порівняльно-правовий аналіз нормативного регулювання; метод термінологічної систематизації для формування понятійного апарату; системний аналіз для вивчення газопостачальних систем як цілісних об’єктів з урахуванням взаємозв’язків між елементами.

Аналіз практики провідних країн демонструє високу ефективність застосування ШІ в газорозподільному секторі. У США компанії National Grid та Southern Company Gas впровадили системи прогнозної аналітики для розподільних мереж, що дозволило зменшити кількість пошкоджень газової інфраструктури на 22-35% [2]. Consolidated Edison встановила 376 000 інтелектуальних детекторів газу в системі міського газопостачання, інтегрованих з системою AMI, що значно знижує ймовірність вибухів у житловому секторі [2].

За оцінками Всесвітнього економічного форуму, широке впровадження ШІ в газопостачанні може призвести до економії коштів на 10-20% до 2025 року [3]. Предиктивне обслуговування розподільних мереж робить можливими цілеспрямовані втручання, передбачаючи проблеми до того, як вони перетворюються на аварійні ситуації [4].

Для газорозподільних систем України критично важливими є три технологічні напрями:

- предиктивне обслуговування розподільних мереж – враховуючи знос газорозподільних систем на рівні 60-70%, впровадження систем прогнозування відмов дозволить оптимізувати витрати на утримання мереж;
- автономне виявлення витоків у розподільних газопроводах – системи ШІ виявляють найменші аномалії, такі як коливання тиску або зміни в патернах споживання [4];
- антелектуальне управління газопостачанням – оптимізація розподілу газу між споживачами на основі прогнозування попиту;

Для характеристики процесів впровадження ШІ в газорозподільні мережі запропоновано поняття "інжекція штучного інтелекту" – цілеспрямований процес інтеграції ШІ-технологій у критичні вузли системи газопостачання з метою підвищення рівня безпеки, надійності та ефективності функціонування за умови збереження автономності існуючих систем управління.

На основі адаптації методологічних підходів OECD [5], NIST [6] та Консорціуму промислового інтернету [7] було сформовано п'ятивимірну класифікаційну систему ШІ-застосувань для газорозподільних систем за: середовищем розгортання, рівнем системної інтеграції, інфраструктурними вимогами, архітектурою моделей та функціональним призначенням.

Україна сформувала стратегічну основу для розвитку ШІ через прийняття Концепції розвитку штучного інтелекту [8]. У травні 2025 року Україна підписала Рамкову конвенцію Ради Європи про штучний інтелект [9]. Участь України в програмі "Цифрова Європа" створює можливості для модернізації газорозподільних систем. Водночас виявлено критичні прогалини: відсутність спеціалізованого регулювання ШІ для операторів газорозподільних систем, недостатність технічних стандартів.

Дослідження показують, що предиктивне обслуговування газорозподільних мереж може знизити витрати на 10-40%, системи виявлення витоків знижують втрати газу на 20-30%, а оптимізація газопостачання може підвищити ефективність на 15-20% [2].

На основі проведеного аналізу міжнародного досвіду автором запропоновано трифазну модель поетапного впровадження ШІ в системи газопостачання України:

Таблиця 1

Етапи впровадження технологій штучного інтелекту в газорозподільні системи України

Фаза впровадження	Термін	Основні заходи	Очікувані результати
Фаза 1: пілотні проєкти	1-2 роки	1) впровадження систем виявлення витоків у міських газорозподільних мережах 2) тестування предиктивної аналітики на критичних ділянках газопостачання 3) навчання персоналу облгазів технологіям ШІ 4) створення нормативної бази	1) зниження витоків на 15-20% 2) формування досвіду впровадження 3) підготовка кадрового потенціалу
Фаза 2: масштабування	3-4 роки	1) розширення успішних проєктів на регіональні системи газопостачання	1) охоплення 50% газорозподільної інфраструктури

		2) створення єдиної платформи управління газорозподілом 3) інтеграція з європейськими системами 4) залучення інвестицій	2) зниження операційних витрат на 20-30% 3) створення національної платформи
Фаза 3: повна цифровізація	5+ років	1) створення цифрових двійників всіх газорозподільних систем 2) впровадження автономних систем управління газопостачанням 3) інтеграція в європейський енергетичний простір 4) розвиток власних технологічних рішень	1) повне охоплення систем газопостачання 2) досягнення європейських стандартів безпеки 3) інтеграція в європейський енергетичний простір

Впровадження технологій штучного інтелекту в газорозподільні системи України є критично важливим фактором забезпечення надійного газопостачання та енергетичної безпеки держави. Міжнародний досвід підтверджує високу економічну ефективність ШІ-технологій у газорозподільному секторі з потенціалом зниження аварійності на 20-35% та операційних витрат на 10-40%. Україна має необхідні передумови для успішної інжекції ШІ в системи газопостачання: розгалужену газорозподільну інфраструктуру, потужний IT-сектор, стратегічну та нормативну основу. Пріоритетними напрямами є системи виявлення витоків у розподільних мережах, предиктивне обслуговування та інтелектуальне управління газопостачанням споживачів. Необхідним є розроблення галузевих стандартів для операторів газорозподільних систем з урахуванням вимог EU AI Act.

Список використаних джерел:

1. AI in Oil and Gas: Preventing Equipment Failures Before They Cost Millions. Energies Media. February 8, 2025. URL: https://energiesmedia.com/ai-in-oil-and-gas-preventing-equipment-failures-before-they-cost-millions/
2. Burman D.X., Kimbrel D.E., Pridemore T., Thanos A.D., Zitelman K. Artificial Intelligence for Natural Gas Utilities: A Primer. National Association of Regulatory Utility Commissioners. October 2020. 42 p. URL: https://pubs.naruc.org/pub/F74D4EC2-155D-0A36-310F-F5B22DC3E286
3. AI in Oil and Gas: Future Trends & Use Cases. Moon Technolabs. March 6, 2025. URL: https://www.moontechnolabs.com/blog/ai-in-oil-and-gas/
4. AI Predictive Maintenance in Oil & Gas Industry. Datategy. January 9, 2024. URL: https://www.datategy.net/2023/12/15/ai-predictive-maintenance-in-oil-gas-industry/
5. OECD Framework for the Classification of AI Systems. Paris: OECD Publishing, 2022. 92 p. URL: https://www.oecd.org/digital/artificial-intelligence/classification-framework
6. NIST Special Publication 1270. Towards a Standard for Identifying and Managing Bias in Artificial Intelligence. Gaithersburg: NIST, 2022. 86 p.
7. Industrial AI Reference Architecture / Industrial Internet Consortium. Version 2.0. Needham: IIC, 2023. 124 p.
8. Про схвалення Концепції розвитку штучного інтелекту в Україні: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 02.12.2020 р. № 1556-р. Офіційний вісник України. 2020. № 100. Ст. 3236.
9. Framework Convention on Artificial Intelligence and Human Rights, Democracy and the Rule of Law. Strasbourg: Council of Europe, 2024. Treaty Series No. 212. 28 p.

УДК 553.98:553.072

ВПЛИВ СЛАБОДЕБІТНИХ ПРОПЛАСТКІВ НА ЗМІНУ ЗАПАСІВ ГАЗУ НА ПРИКЛАДІ ОДНОГО З РОДОВИЩ БІЛЬЧЕ-ВОЛИЦЬКОЇ ЗОНИ ПЕРЕДКАРПАТСЬКОГО ПРОГИНУ

Граб О.І., *grab.oleg@ugv.com.ua,* ***Гетманюк Л.Й.,*** *getmanuyk.luba@ugv.com.ua,*
Грабовий А.М., *andrii.hrabovyi@ugv.com.ua,* ***Тиркус П.Б.*** *peter.tyrkus@ugv.com.ua,*
Український науково-дослідний інститут природніх газів, Львівське відділення,
Львів, Україна

Охарактеризовано зміну величини запасів підрахованих об'ємним методом за рахунок залучення пластів, які при попередній інтерпретації охарактеризовані як ущільнені, а на основі нової комплексної переінтерпретації ГДС (нової петрофізичної моделі, здатної враховувати мікронеоднорідність та тонкошарувату структуру порід-колекторів) виділяються як продуктивні.

Ключові слова: газ, порода-колектор, неколектор, ГДС, об'ємний метод підрахунок, ГРП.

INFLUENCE OF LOW-PRODUCTIVITY RESERVOIR INTERVALS ON GAS RESERVE REASSESSMENT: A CASE STUDY OF A FIELD IN THE BILCHE-VOLYTSIA ZONE OF THE CARPATHIAN FOREDEEP

Граб О.І., *grab.oleg@ugv.com.ua,* ***Гетманюк Л.Й.,*** *getmanuyk.luba@ugv.com.ua,*
Грабовий А.М., *andrii.hrabovyi@ugv.com.ua,* ***Тиркус П.Б.*** *peter.tyrkus@ugv.com.ua,*
Ukrainian Research Institute of Natural Gases, Lviv Branch, Lviv, Ukraine

We described how the volume-based reserves changed by including layers that were previously seen as tight, but with the new comprehensive reinterpretation of the reservoir model (a new petrophysical model accounting for microheterogeneity and fine-layered structure of reservoir rocks), these layers are now considered productive.

Keywords: gas, reservoir rock, non-reservoir, GDS, volumetric calculation method, hydraulic fracturing.

Переважна більшість газових родовищ північно-західної частини Зовнішньої зони Передкарпатського прогину перебуває на пізній стадії розробки. Збереження та нарощування ресурсної бази вуглеводнів у цьому регіоні вимагає впровадження нових підходів до переосмислення наявного геолого-геофізичного матеріалу. Традиційні методи інтерпретації даних геофізичних досліджень свердловин (ГДС), що формувалися у попередні десятиліття, часто класифікували тонкоперешаровані, слабопроникні інтервали як «ущільнені» або «неколектори».

Проте сучасні технології стимуляції пластів (зокрема гідророзрив пласта – ГРП) доводять, що низькодебітні або «непромислові» інтервали можуть формувати значний видобувний потенціал. У 2026 році фахівцями УкрНДІгаз було проведено переоцінку запасів газу нижньосарматських відкладів одного з родовищ північно-західної частини Косівсько-Угерської підзони, що демонструє ефективність перегляду петрофізичних залежностей для родовищ із тривалою історією експлуатації.

Об'єкт дослідження розташований у північно-західній частині Зовнішньої зони Передкарпатського прогину (в межах Косівсько-Угерської підзони). Геологічна будова нижньосарматського розрізу тут характеризується складним літологічним перешаруванням, де домінуючу частку займають аргіліт-алевролітові відклади з підпорядкованою кількістю піщаного матеріалу. Прошарки пісковиків мають незначну товщину, яка переважно варіює в діапазоні від 2 см до 10 см.

При первинних випробуваннях свердловин із даних інтервалів перфорації було отримано незначні припливи пластового газу (від 0,0026 тис. м³/добу до 0,52 тис. м³/добу). Відповідно до попередніх заключень ГДС ці інтервали виділялись як ущільнені і виключалися з геологічних побудов та підрахунку запасів.

Для переоцінки потенціалу даних відкладів було застосовано комплексний підхід:

- переінтерпретація матеріалів ГДС – побудова нової петрофізичної моделі, здатної враховувати мікронеоднорідність та тонкошарувату структуру порід-колекторів (анізотропне середовище);

- визначення коефіцієнтів пористості та газонасиченості з урахуванням уточнених граничних значень для алевро-піщаних фракцій;
- об'ємний метод підрахунку запасів (перерахунок площ поширення порід-колекторів та ефективних газонасичених товщин).

В результаті впровадження нової петрофізичної моделі вдалося деталізувати фізико-геологічні характеристики нижньосарматських відкладів та довести кондиційні фільтраційно-ємнісні властивості пластів, які раніше вважалися неколекторами.

За уточненими даними, відкрита пористість досліджуваних порід-колекторів становить 12,8–17,0 %, що є цілком достатнім показником для отримання промислових припливів газу з сарматських аргіліт-алевролітових товщ з використанням методів інтенсифікації припливу.

Показник газонасиченості варіює в межах 50–66 %, що підтверджує наявність рухомого газу в поровому просторі тонких прошарків пісковиків.

Отримані фізико-геологічні параметри дозволяють обґрунтувати доцільність залучення даних пластів до загального контуру поширення порід-колекторів в межах покладів.

Завдяки перерахунку об'ємним методом загальний обсяг підрахованих запасів газу родовища зріс орієнтовно на 1 млрд. м³. У підсумку ресурсна база досліджуваного об'єкта збільшилася майже на 34 %, що є значним результатом для родовища на пізній стадії розробки. Проте переведення підрахованих балансових запасів у видобувні вимагає спеціальних технологічних рішень.

Оскільки природна проникність таких тонкошаруватих аргіліт-алевролітових товщ є низькою (про що свідчать припливи газу при випробуванні до 0,52 тис. м³/добу), ключовим етапом подальших робіт є підтвердження промислового значення таких товщ, а саме випробування виділених об'єктів із застосуванням інтенсифікації припливу (застосування технології гідравлічного розриву пласта (ГРП), розробка оптимального дизайну проведення даної операції для створення розгалуженої мережі тріщин та їх закріплення, що об'єднають розрізнені 2-10 см прошарки пісковиків у єдину дреновану систему).

У разі отримання сталих промислових припливів газу після ГРП, впровадження підходу до ревізії петрофізичних моделей буде поширено на інші родовища Косівсько-Угерської підзони із подібними сарматськими товщами.

Список використаних джерел:

1. Атлас родовищ нафти і газу України в 6-ти томах. Том IV. Західний нафтогазоносний регіон. УНГА, Львів, 1998.
2. Грицишин В., Кучер С. «Петрофізичні властивості нафтових і газових колекторів Передкарпаттяю Прикарпатський вісник НТШ». Нафтогазова справа, 2012.
3. Галузевий стандарт України. Геофізичні дослідження та роботи у нафтогазоносних свердловинах. Основні вимоги. Київ, 2000.
4. Інструкція із застосування класифікації запасів і ресурсів корисних копалин Державного фонду надр до геолого-економічного вивчення ресурсів перспективних ділянок та запасів родовищ нафти і газу. ДКЗ України, Київ, 1998.
5. Методичні вказівки з екологічного обґрунтування кондицій на мінеральну сировину (нафту та газ, тверді корисні копалини, підземні води).
6. Державна комісія України по запасах корисних копалин при Міністерстві охорони навколишнього природного середовища України. Київ, 2007 р.
7. Методичні вказівки. Вивчення фізичних властивостей гранулярних порід-колекторів до підрахунку запасів нафти і газу об'ємним методом. ДКЗ України, Київ, 2010.

References:

Atlas of oil and gas fields of Ukraine in 6 volumes. Volume IV. Western oil and gas region. UNGA, Lviv, 1998.

Hrytsyshyn V., Kucher S. 'Petrophysical properties of oil and gas reservoirs of the Pre-Carpathians.' Prykarpattia Bulletin of the Shevchenko Scientific Society. Oil and Gas Business, 2012.

Industry Standard of Ukraine. Geophysical surveys and work in oil and gas wells. Basic requirements. Kyiv, 2000.

Instructions for applying the classification of mineral resources and reserves of the State Subsoil Fund to the geological and economic study of the resources of prospective sites and the reserves of oil and gas fields. DKZ of Ukraine, Kyiv, 1998.

Methodical guidelines for the ecological justification of conditions for mineral resources (oil and gas, solid minerals, groundwater).

State Commission of Ukraine on Mineral Reserves under the Ministry of Environmental Protection of Ukraine. Kyiv, 2007.

Methodical guidelines. Studying the physical properties of granular reservoir rocks before calculating oil and gas reserves using the volumetric method. State Commission of Ukraine, Kyiv, 2010.

УДК 622.279.519

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОГНОЗНИХ ПОКАЗНИКІВ ВИДОБУТКУ ГАЗУ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ МАТЕРІАЛЬНО-БАЛАНСОВОГО ТА ГІДРОДИНАМІЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ НА РОДОВИЩАХ ДДЗ

Соловарова В.В, *viktoriia.solovarova@ugv.com.ua;* ***Яводчак М.І.,*** *mykola.yavodchak@ugv.com.ua,*
АТ "Укргазвидобування", м. Київ, Україна

Проведено газодинамічні розрахунки основних показників розробки та виконано дослідження результатів прогнозування дебітів і видобутку газу проєктних свердловин для визначення особливостей, переваг і обмежень матеріально-балансового та гідродинамічного підходів до моделювання газових родовищ. Показано, що, не дивлячись на різницю в обраному до розрахунків підході, у використанні абсолютно різних за складністю побудови моделей програмних комплексів, але проведенні коректної адаптації моделей покладів до геолого-промислових даних, можна отримати близькі результати.

Ключові слова: свердловина, дослідження, видобуток газу.

INVESTIGATION OF FORECAST GAS PRODUCTION INDICATORS BASED ON MATERIAL BALANCE AND RESERVOIR SIMULATION MODELING IN THE FIELDS OF THE DNIEPER-DONETS BASIN

Solovarova V., *viktoriia.solovarova@ugv.com.ua;* ***Yavodchak M.,*** *mykola.yavodchak@ugv.com.ua,*
JSC Ukrgasvydobuvannya, Kyiv, Ukraine

Gas-dynamic calculations of the principal field development parameters were performed, and a study of forecast well rates and gas production from planned wells was conducted to identify the characteristics, advantages, and limitations of material balance and reservoir simulation approaches to gas field modeling. The results demonstrate that, despite the differences in the applied calculation methodologies and the use of software packages based on models of substantially different complexity, comparable forecast results can be achieved when reservoir models are properly history-matched and calibrated to available geological and production data. This confirms the applicability of both approaches for forecasting gas field performance and supporting development decisions under conditions of sufficient input data quality and model adaptation.

Keywords: well, investigation, gas production.

Вступ. Отримання додаткових кубометрів газу на тлі складних часів в історії нашої держави сьогодні є дуже важливим та трудомістким процесом. Ця складність також підсилюється й тим, що по переважній більшості родовищ вуглеводнів у Дніпровсько-Донецькій западині коефіцієнт виснаження вже досяг 80 %. Все більше прикута увага до кожної проєктної свердловини та до кожного геолого-технічного заходу.

Одним з найважливіших моментів, який визначає подальшу доцільність проведення усіх заходів є наявність запасів вуглеводнів. На цьому етапі важливу роль відіграє використання програмного комплексу, який враховує не лише історію видобутку вуглеводнів зі свердловини та зниження пластового тиску в часі, а й вплив сусідніх свердловин чи процес поширення депресійної воронки та збільшення дренованого порового об'єму, що значно підвищує коректність проведених розрахунків.

Оцінка очікуваного дебіту газу, який ми отримаємо після введення свердловини в експлуатацію, є наступним важливим етапом, без якого проведення будь-якого геолого-технічного заходу вважається малоймовірним. Для проведення коректного розрахунку необхідно врахувати велику кількість вихідних даних, серед яких початковий пластовий тиск, робочий тиск, пластова температура, відносна густина газу, густина конденсату, інтервали розкриття продуктивного пласта, водогазовий та конденсатогазовий фактори, проникність пласта, ефективна товщина пласта, пористість, водонасиченість, дані з конструкції свердловини (глибина спуску та діаметр насосно-компресорних труб і обсадної колони, глибина свердловини по стовбуру та по вертикалі) і т.д.

Наступний етап передбачає виконання газодинамічних розрахунків показників розробки виділених експлуатаційних об'єктів з метою визначення економічної

ефективності розробки родовища у відповідності до обґрунтованих вихідних даних та оптимальної технології видобутку вуглеводнів.

Заключним етапом проведеної комплексної роботи стає техніко-економічна оцінка варіантів розробки родовища. Тому важливим та ефективним інструментом у досягненні основної мети є використання програмного забезпечення (ПЗ). Для створення повноцінних геологічних та гідродинамічних моделей та прогнозування видобутку вуглеводнів на їх основі в АТ «Укргазвидобування» застосовується ПЗ Petrel. Серед користувачів платформи в різних країнах традиційно є такі великі оператори, як Shell, BP, TotalEnergies, Chevron, ExxonMobil, Equinor, Saudi Aramco та багато інших компаній, що займаються геологічним моделюванням і розробкою родовищ. Для створення спрощених моделей покладу використовується програмний комплекс Petroleum Experts (Petex), який довів свою ефективність та прийнятий в якості галузевого стандарту найбільшими світовими операторами у понад 320 нафто- і газовидобувних та сервісних компаніях по всьому світу.

Застосування даних ПЗ для проведення повноцінного моделювання процесів розробки родовищ в АТ «Укргазвидобування» відбувається з 2011 року (Petrel) та з 2017 року (Petex) з придбанням перших ліцензій.

Метою цього дослідження є зіставлення результатів прогнозування дебітів і видобутку газу проєктних свердловин, отриманих у програмних комплексах Petroleum Experts та Petrel, для визначення особливостей, переваг і обмежень матеріально-балансового та гідродинамічного підходів до моделювання газових родовищ, та оцінка впливу застосованого підходу до моделювання на точність прогнозування технологічних показників розробки родовища.

Для проведення дослідження було прийнято Родовище 1, Родовище 2 та Родовище 3.

Передбачалось закладання нової проєктної свердловини та визначення доцільності її буріння на кожному з родовищ.

Дослідження 1. Родовище 1 стало першим в дослідженні, коли в якості експерименту було прораховано проєктну свердловину і в 3Д моделі, і в Petex. Нову свердловину передбачалось пробурити в північній частині родовища на поклади гор. А-6, А-7. На жаль, перший розрахунок надав нам від'ємні результати. Саме в той момент була виконана переоцінка прогнозного видобутку газу за методом матеріального балансу. І в цьому випадку було отримано позитивні результати. Ця різниця в отриманих результатах і стала причиною, через яку ми з колегою-модельєром "розібрали" моделі на "детальки" і знайшли відповідь, яка полягала в найпростішому не врахованому аспекті. Різниця була не в якості застосованого інструменту чи проведеного прогнозного розрахунку, а саме в прийнятому поточному значенні пластового тиску для однієї із сусідніх свердловин. Оскільки по даній свердловині щойно було проведено замір пластового тиску, який виявився на 30 % вищим за розраховане в 3Д моделі значення. Зважаючи на те, що процес прогнозування видобутку газу в гідродинамічній моделі є складнішим і довшим, тому дане значення не увійшло в розрахунки. Після зіставлення усіх вихідних даних та прогнозної оцінки, результати в гідродинамічній моделі були скореговані і що цікаво отримано практичне співпадіння результатів прогнозування дебіту та додаткового видобутку газу на перспективу в обох моделях (рис. 1).

Цікавим моментом дослідження 1 є те, що в гідродинамічній моделі оцінка проводилась на залишкові запаси газу для всього експлуатаційного об'єкту, розробка якого здійснювалась 50-ма свердловинами, тоді як для моделі, створеної в ПЗ Petroleum Experts, на залишкові запаси в секторі, до якого увійшли лише 4 найближчих сусідніх свердловини. Для родовищ, які знаходяться в розробці, MBAL надає широкий набір

методів адаптації моделі за геолого-промисловими даними. Початкові запаси газу в секторі оцінені в кількості 2069 млн м^3 (рис. 2).

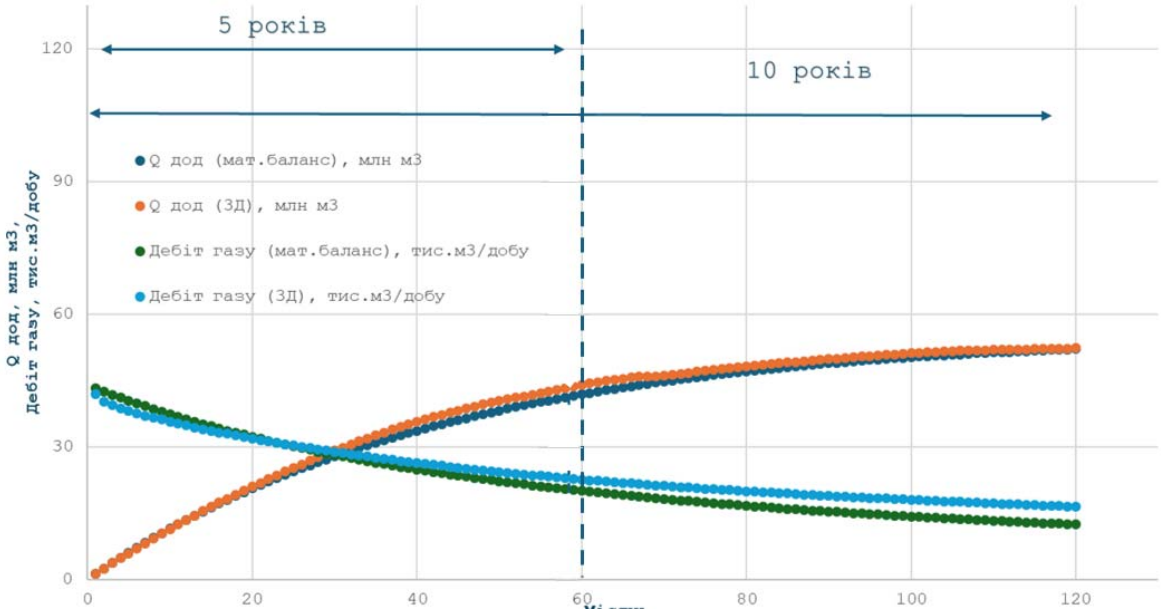


Рис. 1. Графіки прогнозних показників розробки проєктної свердловини 1 Родовища 1

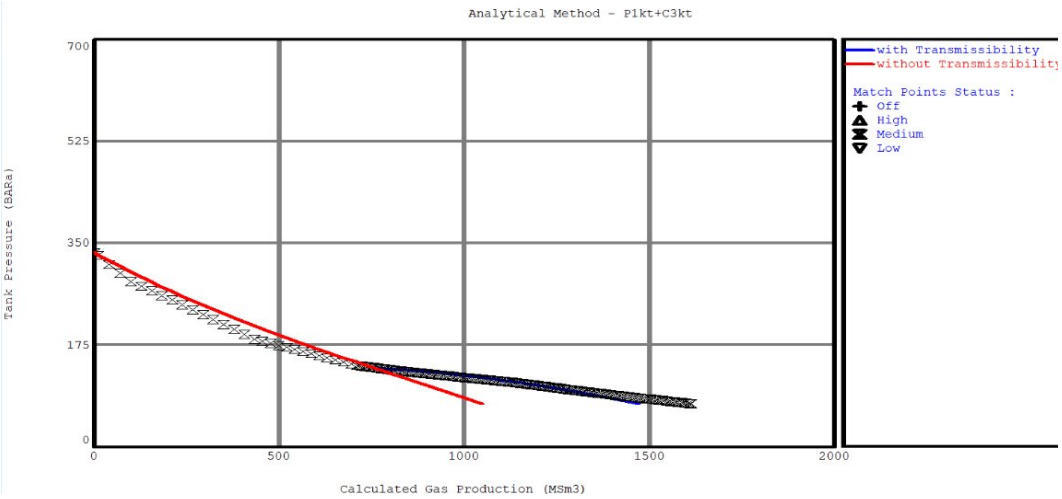


Рис. 2. Оцінка дренованих запасів газу в секторі 1 Родовища 1

Звернувши увагу на графіки прогнозних показників розробки проєктної свердловини 1 Родовища 1, можна побачити, що початкові значення дебіту газу отримані шляхом розрахунку в обох програмних комплексах становлять 42 тис.м^3/добу. В далекій перспективі додатковий видобуток газу, оцінений в ПК Petroleum Experts відповідає його значенню, оціненому в 3Д моделі. Зважаючи на те, що техніко-економічні показники розраховуються саме на додатковий видобуток газу, який можна отримати шляхом буріння нової свердловини, то цей параметр вважаємо одним з основних для перевірки точності оцінки. Значення дебіту газу на п'ятий рік практично співпадають (22 тис.м^3/добу проти 20 тис.м^3/добу), на десятий рік – дебіт дещо нижчий (16,4 тис.м^3/добу проти 12,4 тис.м^3/добу), що свідчить про менші запаси газу в моделі оцінені методом матеріального балансу, тоді як згідно 3Д моделі запаси в даній локації виглядають більшими. Однак, в загальному можна спостерігати дуже хороше співпадіння по отриманих результатах.

Дослідження 2. Родовище 2, гор. С-4. Розробка покладу гор. С-4 здійснюється трьома свердловинами.

Провівши детальні розрахунки, я прийшла до висновку, що не дивлячись на обмеженість запасів газу покладу гор. С-4 (292 млн м3 газу, рис. 3) та високої продуктивності свердловин, які експлуатуються з даного покладу, максимальне значення додаткового видобутку газу, оціненого в 3Д моделі, складає 11,3 млн м^3 газу, тоді як оціненого за матеріальним балансом - 12,8 млн м^3 (рис. 4), що є доволі схожим, а прогнозні дебіти газу проєктної свердловини практично повторюють один одного.

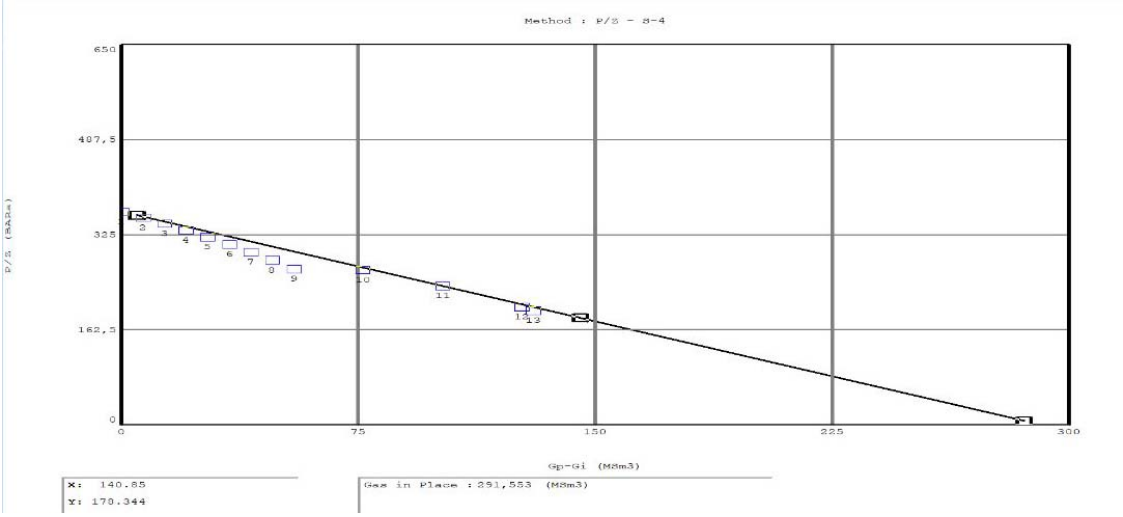


Рис. 3. Оцінка дренованих запасів газу в секторі 2 Родовища 2

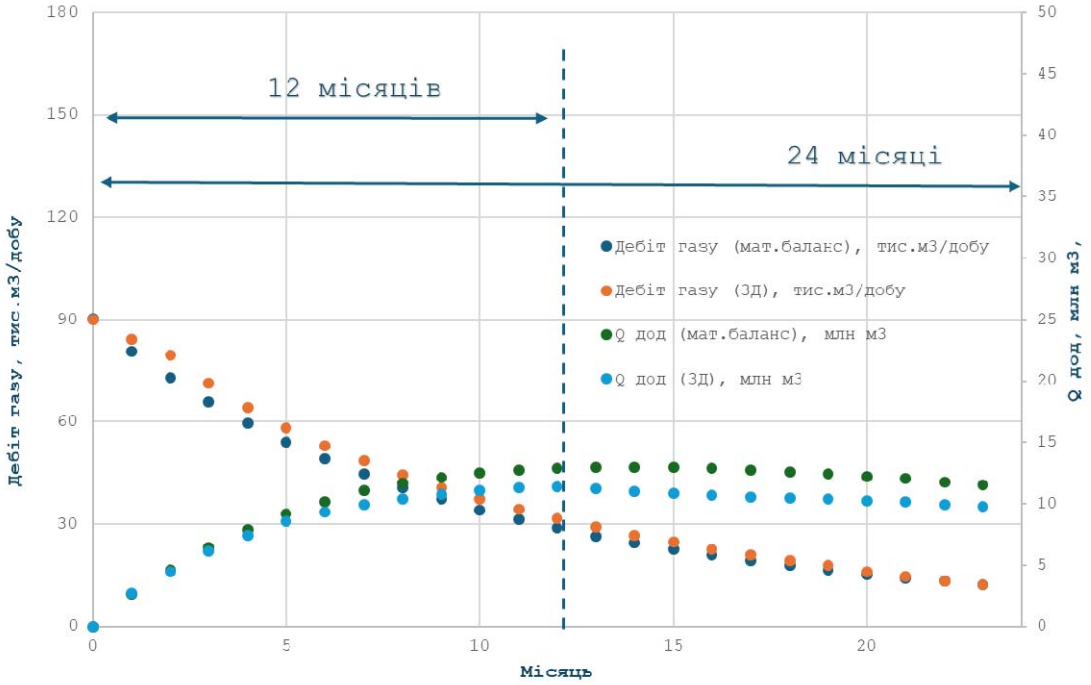


Рис. 4. Графіки прогнозних показників розробки проєктної свердловини 2 Родовища 2

Дослідження 3. Родовище 3. Планувалось залучення до розробки покладів гор. А-6, А-7, Г-6, Г-7, Г-8, Г-9, тобто шість горизонтів. Випадок доволі цікавий, оскільки включає велику кількість продуктивних горизонтів. При проведенні газодинамічних розрахунків як в Petrel, так і в Petex було побудовано секторну модель, однак, з різною кількістю свердловин. У першому випадку до секторної моделі увійшли тридцять свердловин, тоді як у другому випадку – три.

В результаті проведених розрахунків отримано початкові значення дебіту в обох ПК на рівні 30 тис.м^3/добу. В далекій перспективі додатковий видобуток газу, оцінений в ПК

Petroleum Experts відповідає його значенню, оціненому в 3Д моделі і становить 33 млн м^3 газу (рис. 5). Значення дебіту газу на п'ятий рік практично співпадають (12 тис. м^3/добу проти 10 тис.м^3/добу), на десятий рік – дебіт дещо нижчий (7 тис.м^3/добу проти 4 тис.м^3/добу). Отже, тенденція і в третьому випадку підтвердилась.

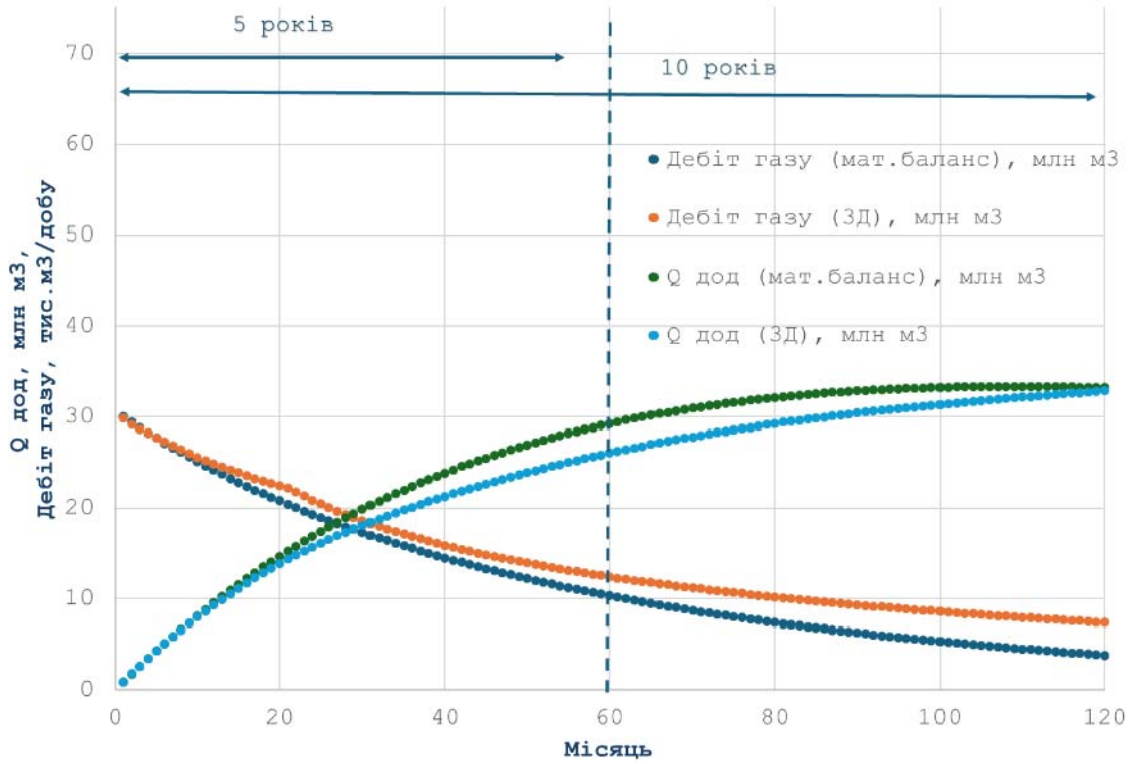


Рис. 5. Оцінка дренованих запасів газу в секторі 3 Родовища 3

Результати. Цікавим аспектом при проведенні усіх трьох досліджень на родовищах Дніпровсько-Донецької Западини з залученням при цьому як меншої (від одного), так і більшої кількості горизонтів (в нашому випадку – шість), виявилось те, що, не дивлячись на різницю в обраному до розрахунків підході, у використанні абсолютно різних за складністю побудови моделей програмних комплексів, але проведенні коректної адаптації моделей покладів до геолого-промислових даних, ми отримали доволі близькі результати.

Висновки. Наявність сьогодні цифрової тривимірної моделі родовища, яка враховує геологічну будову, розподіл колекторських властивостей і рух газу, нафти та води між комірками пласта в часі, надає Компанії перевагу при проведенні детального прогнозування експлуатації свердловин, оптимізації розміщення нових проєктних свердловин і вибору стратегії розробки родовища. Але потрібно відмітити, що процес гідродинамічного моделювання є довготривалим та вимагає великих затрат не лише часу, а й залучення більшої кількості фахівців та значно потужнішої техніки. Використання спрощених моделей, в свою чергу, дозволяє проводити швидкі і точні розрахунки, значно полегшуючи при цьому процес, з можливістю виконання в рази більшої кількості ітерацій (чи то оцінка доцільності проведення капремонту, чи інтенсифікації припливу вуглеводнів (ГРП, СКО) чи буріння бокового стовбуру, або ж облаштування родовища ДКС чи МДКС і т.д., не залучаючи при цьому більш потужні комп'ютери, та не втрачаючи в якості отриманих результатів прогнозних показників видобутку.

Використання Компанією обох програмних комплексів дозволяє як отримувати надійні прогнози технологічних показників розробки газових родовищ за різних рівнів вивченості об'єктів, здійснювати взаємну верифікацію результатів моделювання, підвищувати обґрунтованість проєктних рішень, так і слідувати останнім міжнародним тенденціям навіть в складні для нашої держави часи.

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ РОЗРОБКИ РОДОВИЩ КОРИСНИХ КОПАЛИН



УДК 622.34:504.05:556.332(477)

МІНІМІЗАЦІЯ ВПЛИВУ РОЗРОБКИ КОРИСНИХ КОПАЛИН НА ДОВКІЛЛЯ (НА ПРИКЛАДІ КРИВОРІЗЬКОГО ПІВНІЧНОГО ГЗК)

Стеценко Б.Д., *к. геол.-мін. н., borstets@ukr.net,*
Державна установа «Науково-інженерний центр радіогідрогеоекологічних полігонних досліджень НАН України», Київ, Україна

В даній роботі, на прикладі розробки магнетиту на півночі м. Кривий Ріг, розглянута можливість значного зменшення негативного впливу витоків з хвостосховища Північного ГЗК вод з підвищеною мінералізацією на довкілля, що просочились за його межі крізь палеоген-неогенові піщано-глинисті породи у його бортах, утворили підпірний купол під сховищем і фільтруються в поряд розташовані рудовидобувні кар'єри. Зібраний дренажною системою на контурі великих куп пустої породи підвищено мінералізований інфільтрат після дощів теж направляється по дренажних канавах в кар'єри, де він разом з витоками з хвостосховища збираються у зумпфи для повторного використання в технології збагачення руди. Таким чином нейтралізується майже весь можливий негативний вплив вищезгаданих вод на довкілля. Негативний вплив висушування порід під фундаментами будинків, розташованих в межах загальної воронки депресії рівнів підземних вод, при необхідності, нейтралізується відповідними ремонтними заходами.

Ключові слова: корисні копалини, Криворізький Північний ГЗК, видобувний кар'єр, дренажна система, хвостосховище, підвищено мінералізовані води

MINIMIZING THE ENVIRONMENTAL IMPACT OF MINING (WITH KRYVYI RIH NORTHERN GZK AS AN EXSAMPLE)

Stetsenko B., *Cand. Sci. (Geol.-Mineral.), borstets@ukr.net,*
Radioecological Centre of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

This study examines the possibility of significantly reducing the environmental impact of highly mineralized water leaking from the Northern Mining and Processing Plant's (Northern GZK) tailings storage facility. These waters have seeped beyond the facility's boundaries through the Paleogene-Neogene sandy-clay deposits in its embankments, formed a groundwater mound beneath the facility, and are filtering into adjacent open-pit mines. Highly mineralized leachate collected by the drainage system surrounding large waste rock piles—generated following rainfall—is also routed via drainage ditches into the open-pit mines; there, it combines with seepage from the tailings storage facility in sumps for reuse in the ore processing circuit. This effectively neutralizes almost all potential adverse environmental impacts associated with these waters. Any negative effects resulting from the drying out of soil beneath the foundations of buildings located within the regional groundwater drawdown cone are mitigated, where necessary, through appropriate remedial measures.

Keywords: mineral resources, Kryvyi Rih Northern Mining and Processing Plant, open-pit mine, drainage system, tailings storage facility, highly mineralized waters

Вступ. При розробці родовищ твердих корисних копалин успішність екологічних заходів щодо охорони довкілля часто залежать від проектування розташування зон видобутку корисних копалин відносно таких вторинних елементів підприємства, як системи дренажу рідкого інфільтрату з куп пустої породи, видаленої з зони видобування руди і складеної на поверхні землі, а також місце знаходження хвостосховища відносно видобувних кар'єрів. Тут важливо щоб купи пустої породи і хвостосховище були розташовані недалеко від видобувних кар'єрів, зменшуючи таким чином можливість розтікання рідкого забруднення по довкіллю. В якості взірця вдалого проектування гірничо-видобувного підприємства можна взяти Криворізький Північний ГЗК, де вдало враховано екологічні потреби охорони довкілля. Щоб показати ефективність природоохоронних заходів вищезгаданого підприємства у цифрах було вирішено отримати їх в ході моделювання дії його окремих вузлів і стану рівнів підземних вод на території досліджень.

Модельні дослідження. Оцінювання впливу розробки корисних копалин (магнетиту) в північній частині м. Кривий Ріг (Україна) в даній роботі відбувалося за результатами чисельного математичного моделювання руху підземних вод за допомогою комп'ютерної програми MODFLOW з пакету PMWIN [1].

Для створення моделі гідродинамічної будови району розташування Північного Гірничо-Збагачувального Комбінату (ГЗК) в м. Кривий Ріг в геологічному розрізі

території досліджень було виділено чотири водоносні шари, що розташовані поверхово один під одним (четвертинний, палеоген-неогеновий і два в докембрійських кристалічних породах: верхній в зоні підвищеної тріщинуватості товщиною 200 м і нижній в зоні практично масивних кристалічних порід товщиною 800 м), а також два відносно слабко проникні роздільні шари, які регулюють вертикальний водообмін між сусідніми водоносними шарами, тобто між четвертинним і палеоген-неогеновим, а також між палеоген-неогеновим і верхнім докембрійським водоносними шарами. Роздільний шар між верхнім і нижнім докембрійськими шарами на моделі не був виділений через його відсутність.

Для параметричного наповнення моделі району досліджень були використані дані з робіт [2-4], які у подальшому були скореговані шляхом підбору за даними про водовідлив підземних вод з Першотравневого і Ганнівського видобувних кар'єрів, а також шахти Першотравнева, розташованої між кар'єрами.

Гідрологічна мережа і хвостосховище на моделі Північного ГЗК імітувалися за допомогою граничної умови 3-го роду ($Q \sim \Delta H$), де Q – об'єм потоку підземних вод за певний термін часу, м^3/добу; ΔH – різниця між позначками рівнів води у поверхневій водоймі і у першому від поверхні землі водоносному горизонті.

Дія Першотравневого і Ганнівського кар'єрів, а також шахти Першотравнева на моделі імітувалася граничною умовою першого роду (ΔH=const), де H – середнє значення абсолютної позначки днища кар'єру або шахтного поля. Так, для Ганівського кар'єру ΔH=300 м, для Першотравневого кар'єру ΔH=200 м і для шахти Першотравнева ΔH=800 м.

Вплив дощових вод, які при інфільтрації крізь великі купи гірських порід, розташованих поряд з вищеозначеними кар'єрами, що утворилися в ході видалення пустої породи над покладом залізної руди, можуть набувати підвищеної мінералізації і небажаних токсичних якостей, у даному досліджені методом математичного моделювання не вивчалося через спорадичність поширення ґрунтових вод в їхніх межах. Хоча, для перехоплення інфільтрату з цих насипів пустої породи навкруг них споруджені дренажні канави, які скидають зібрані в них води в кар'єри не дозволяючи забруднювати довкілля.

Моделювання показало, що за 60 років існування Північного ГЗК довкола вищеозначених видобувних кар'єрів і шахти у всіх водоносних горизонтах сформувалась загальна воронка депресії рівнів підземних вод. Якщо за границю воронки прийняти лінію однакового зниження рівнів підземних вод в 1 м, то в четвертинному горизонті її максимальна ширина вздовж лінії із заходу на схід над шахтою Першотравнева досягає 8,5 км, на північ від північного краю Ганнівського кар'єру границя воронки депресії рівнів підземних вод поширюється на відстань 2 км і до р. Саксагань від південного краю Першотравневого кар'єру на відстань 3,5 км.

В середині загальної депресійної воронки в осадовому чохлі навкруги видобувних кар'єрів і шахти виникла зона можливого повного осушення, наприклад, четвертинного водоносного горизонту. Ширина цієї зони досягає 6 км при середній потужності четвертинного горизонту 5 м. Четвертинні породи тут розглядаються окремо, бо вони вміщують неглибокі фундаменти житлових будинків.

Важливим об'єктом для охорони довкілля в районі розташування Криворізького Північного ГЗК є його хвостосховище. На моделі цей об'єкт розглядався у двох варіантах дії: перший, це коли позначки рівня води в родовищі і у ставку оборотного водопостачання відповідають замірам на 01.01.2022 р. (158 і 135 м), і другий, за прогнозних позначок (164 і 145 м). Просочування рідини з підвищеною мінералізацією із хвостосховища в осадовий чохол оцінювалось як фільтрацію крізь узагальнений захисний шар цієї споруди.

Згідно результатам моделювання, інтенсивність перетікання рідини із хвостосховища криворізького Південного ГЗК в палеоген-неогеновий комплекс, складений з дрібнозернистого піску і захисного шару суглинку при розрахованої питомої

проникності захисного шару $1{,}5 \cdot 10^{-2}$ 1/добу і вищезгаданих рівнів рідини у сховищі і ставку оборотного водопостачання на 01.01.2022 р. становить 11,4 $м^3$ за годину з $км^2$ площі хвостосховища.

При прогнозних позначках рівнів заповнення сховища і ставка (164 і 145 м) інтенсивність перетікання досягне 16, 4 $м^3$ за годину з $км^2$ площі хвостосховища.

Оскільки для перехоплення витоків зі сховища і повертання їх у ставок оборотного водопостачання в четвертинному водоносному горизонті навкруг сховища хвостосховища ефективно діє дренажна система з повертанням втрат рідини у ставок, то питома проникність захисного шару на контакті між хвостосховищем і четвертинним горизонтом на моделі імітувалась достатньо малою величиною питомої фільтраційної проникності $1 \cdot 10^{-4}$ 1/добу, щоб витоки на моделі були практично відсутні, тобто менші від 0,1 $м^3$ за годину з $км^2$ площі хвостосховища.

Перетікання підвищено мінералізованих вод із хвостосховища в підземну гідросферу сприяло утворенню під ним підпорного куполу, який за 60 років існування підприємства піднявся на висоту понад 45 м над природними рівнями ґрунтових вод, місцями зволожуючи поверхню землі, а також понад 55 м в прогнозному варіанті на перспективу підвищення рівнів накопичення хвостів у сховищі до 164 м і відстояної води у ставку оборотного водопостачання до 145 м.

Можна відзначити, що отримані за результатами моделювання значення інтенсивності витоків рідини із хвостосховища криворізького Південного ГЗК є на порядок менші, ніж у разі зливання відпрацьованої пульпи прямо в р. Саксагань. До того ж більша частина неконтрольованого витоку підвищено мінералізованої рідини із хвостосховища перетікає у розташовані поряд рудовидобувні кар'єри і не шкодять довкіллю.

Висновки. У результаті модельних досліджень в районі Північного ГЗК Криворізького залізорудного родовища отримано такі попередні висновки:

1. Природна підземна гідродинамічна обстановка в цьому районі суттєво порушена;
2. До негативних факторів, які порушують природну гідрогеологічну обстановку належать діючі Першотравневий і Ганнівський видобувні кар'єри, шахта Першотравнева, а також хвостосховище Північного ГКЗ;
3. Через дію видобувних кар'єрів і шахти протягом 60 років в районі досліджень утворилася загальна воронка депресії рівнів підземних вод у водоносних горизонтах осадового чохла і кристалічного фундаменту, яка досягає русла р. Саксагань, поглинаючи невелику частину її стоку, а також створюючи суттєве осушення порід в осадових горизонтах, зменшуючи несучу спроможність основ будівель з неглибокими фундаментами.
4. Витоки підвищено мінералізованих вод з хвостосховища в палеоген-четвертинний комплекс утворюють підпорний купол розтікання, локально деформуючи гідродинамічну і гідрохімічну картину навкруг нього;
5. Об'єм витоку із хвостосховища Північного ГЗК є значно (на порядки) меншим, ніж у разі зливання відпрацьованої пульпи прямо в русло р. Саксагань;
6. Завдяки тому, що хвостосховище розташоване поблизу видобувних кар'єрів більша частина несанкціонованого витоку підвищено мінералізованої рідини фільтрується крізь палеоген-неогеновий комплекс порід у розташовані поряд рудовидобувні кар'єри і не шкодять довкіллю.
7. Для перехоплення дощового інфільтрату з великих куп пустої породи біля кар'єрів споруджена дренажна система, яка збирає і скидає в кар'єри ці води не дозволяючи забруднювати довкілля.

Список використаних джерел:

1. Chiang W.H., Kinzelbach W. 3D-Groundwater Modeling with PMWIN. Springer, Berlin, Heidelberg, 2001. 346 p.

2. Багрій І.Д., Гожик П.Ф., Білокопитова Н.А. та ін.. Гідроекосистема Криворізького басейну (стан і напрямки поліпшення). Київ. Фенікс, 2005.215 с.

3. Климентов П.П., Богданов Г.Я. Общая гидрогеология. Москва: Недра, 1977. 357 с.

4. Шестопалов В.М., Лялько В.И., Огняник Н.С. и др. Водообмен в гидрогеологических структурах Украины. Водообмен в естественных условиях / Шестопалов В.М. (отв. ред.), Киев : Наукова думка, 1989. 288 с.

УДК 624.131:556.3:620.91(234.42)

ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНІ ТА ГІДРОГЕОЛОГІЧНІ ОБМЕЖЕННЯ ПРИ ВИБОРІ ДІЛЯНОК ПІД БУДІВНИЦТВО ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК В МЕЖАХ ПОШИРЕННЯ ФЛІШЕВОЇ ФОРМАЦІЇ КАРПАТ

Дяків В.О.*[1]*, *к. геол. н., dyakivw@yahoo.com;*
Поп С.С.*[2]*, *д. фіз.-мат. н., професор, stepan.pop@uzhnu.edu.ua,*
Павлюк В.І.*[3]*, *к. геол. н., notebooc@gmail.com,*
Яремович М.В.*[3]*, *mishayaremovich@gmail.com;*
1 – ЛНУ імені Івана Франка; ТзОВ «Інститут «ГІРХІМПРОМ», Львів, Україна,
2 – Ужгородський національний університет, Львів, Україна,
3 – ТзОВ «Науково-виробниче технічне підприємство «Геологічні Технології», Львів, Україна

В останні роки розроблені та реалізується кілька проєктів будівництва об'єктів вітрової енергетики, в межах Українських Карпатах. Будівництво та експлуатація подібних об'єктів відновлюваної енергетики показали високу ефективність Карпатського регіону. Проте реалізація проєктів будівництва вітроенергетичних установок у межах флішевої формації Карпат пов'язана з низкою складних інженерно-геологічних умов та обмежень: геологічної будови та геотектонічної позиції, літологічного складу та фізико-механічних властивостей флішевих порід та їхніх ділянок порушених звітрюванням, гідрогеологічних умов, сейсмічності території, ураженості теренів геодинамічними процесами у природному стані. Синергетичний вплив цих критеріїв на конкретних локаціях проєктування та будівництва вітроенергетичних установок, при високому ризику по усіх чи більшості критеріїв, загрожує ризикам порушення стійкості геологічного середовища, зміні гідрогеологічних умов, активізації небезпечних геодинамічних процесів. Визначення та оцінка цих обмежень дають змогу обґрунтовано підійти до вибору ділянок, що забезпечать безпечне та ефективне будівництво вітроенергетичних установок, мінімізуючи ризики аварій та деградації довкілля.

ENGINEERING-GEOLOGICAL AND HYDROGEOLOGICAL CONSTRAINTS ON SITE SELECTION FOR WIND POWER INSTALLATIONS WITHIN THE FLYSCH FORMATION OF THE CARPATHIANS

Dyakiv V.*[1]*, *Cand. Sci. (Geol.), dyakivw@yahoo.com;*
Pop S.*[2]*, *Dr. Sci. (Phys.-Math.), professor, stepan.pop@uzhnu.edu.ua,*
Pavlyuk V.3, *Cand. Sci. (Geol.), notebooc@gmail.com;*
Yaremovich M.*[3]*, *mishayaremovich@gmail.com;*
1 – Ivan Franko National University of Lviv; LLD "Institute" GIRHIMPROM ", Lviv, Ukraine,
2 – Uzhhorod National University, Lviv, Ukraine,
3 – LLC "Geological technology", Lviv, Ukraine

In recent years, several wind energy projects have been developed and implemented within the Ukrainian Carpathians. The construction and operation of such renewable energy facilities have demonstrated the high potential of the Carpathian region. However, implementing wind turbine projects within the Carpathian flysch formation involves a range of complex engineering-geological conditions and constraints, including geological structure and geotectonic setting, the lithological composition and physical-mechanical properties of flysch rocks (including zones affected by weathering), hydrogeological conditions, regional seismicity, and the terrain's susceptibility to natural geodynamic processes. The synergistic effect of these factors at specific project sites—particularly where risks associated with all or most criteria are high—poses threats such as the destabilization of the geological environment, alterations to hydrogeological conditions, and the triggering of hazardous geodynamic processes. Identifying and assessing these constraints enables a well-founded approach to site selection, ensuring the safe and efficient construction of wind turbines while minimizing the risks of accidents and environmental degradation.

Вступ. Об'єднана енергетична система України, незважаючи на постійне враження її об'єктів внаслідок ракетних обстрілів і бомбардування російськими окупантами, демонструє стійкість завдячуючи ефективній роботі енергетиків та оперативним рішенням уряду. Зокрема прийнятими у серпні 2024 року важливими рішеннями щодо просторової децентралізації генеруючих потужностей та необхідності активізації

освоєння відновлюваних джерел енергії. [1]. Попри значну роботу з відновлення зруйнованих по тужних об'єктів електроенергетики, безальтернативним є шлях швидкого освоєння відновлюваних енергетичних ресурсів у всіх регіонах України з урахуванням наявного у них потенціалу, стратегії розвитку, інвестиційної привабливості та місцевих особливостей, зокрема щодо природоохоронних обмежень.

В умовах повномасштабної війни, розвиток відновлюваної енергетики у Центральних і Північних регіонах України стикається із значними труднощами, а у Східних та Південних областях взагалі унеможливлений близькістю до фронту, частими обстрілами та бомбардуваннями, внаслідок пошкоджується не тільки енергетична інфраструктура, але зазнають поранень та гинуть люди. Це з одного буку ускладнює забезпечення стабільного електропостачання, особливо в осінньо-зимовий період, коли зростає споживання, а з іншого боку, «тримає на паузі» реалізацію перспективних проєктів відновлюваної енергетики. Для підтримки роботи енергосистеми держава змушена застосовувати аварійні відключення, імпортувати електроенергію з країн ЄС та пришвидшувати відновлювальні роботи. Тому розвиток відновлюваної енергетики є одним із пріоритетних напрямів забезпечення енергетичної безпеки та зменшення залежності від форс-мажорних ситуацій військового характеру. Такий стан спонукає бізнес та фінансово спроможних громадян активно освоювати відновлювані джерела енергії. Споруджуються насамперед сонячні та вітрові електростанції, особливо у регіонах, що віддалені від зони бойових дій.

Західні області України та особливо Карпатський регіон є найбільш безпечними, мають унікальний потенціал та можливості для створення нових об'єктів відновлюваної енергетики. Серед відновлюваних джерел енергії особливе місце займає вітроенергетика, яка має значний потенціал у гірських і передгірних районах Карпат. Львівська область наразі швидкими темпами будує вітрові електростанції (ВЕС). Закарпатська область серед лідерів з розвитку сонячної енергетики (як промислових станцій, так і на дахах приватних будинків), а також має уже більше десятка діючих сучасних малих гідроелектростанцій та введену в експлуатацію першу ВЕС «Нижні ворота-1» загальною потужністю 80,8 МВт. Важливо також, що на її території діє підприємство, яке виготовляє сучасні вітрогенератори.

Саме тому, в останні роки розроблені та реалізується низка проєктів будівництва об'єктів вітрової енергетики в Українських Карпатах, де наявний значний потенціал вітрового поля. Будівництво та експлуатація уже діючих ВЕС показали високу ефективність.

Реалізація проєктів будівництва вітроенергетичних установок у межах флішевої формації Карпатського регіону пов'язана з низкою складних інженерно-геологічних та гідрогеологічних умов та обмежень. Визначення та оцінка цих обмежень необхідні для обґрунтованого вибору ділянок для спорудження ВЕС, що забезпечить їх безпечне будівництво, ефективну експлуатацію та мінімізує ризики аварій і деградацію довкілля. Тому актуальним є вивчення впливу новостворюваних об'єктів вітроенергетики на геологічне середовище із врахуванням особливостей інженерно-геологічних та гідрогеологічних умов, геотектонічних позицій, сейсмічності та інших обмежень, що є метою даної роботи.

Виклад основного матеріалу. Флішева формація Карпат, згідно із картою геотектонічного районування Карпато-Паннонського регіону (за Majcin et al. 2018) [2] поширена переважно в межах Поясу Зовнішніх (Флішевих) Карпат (див. рис.1). В межах Українського сегменту вона є домінуючою в основі геологічної будови територій південно-західніше від Передкарпатського прогину [2].

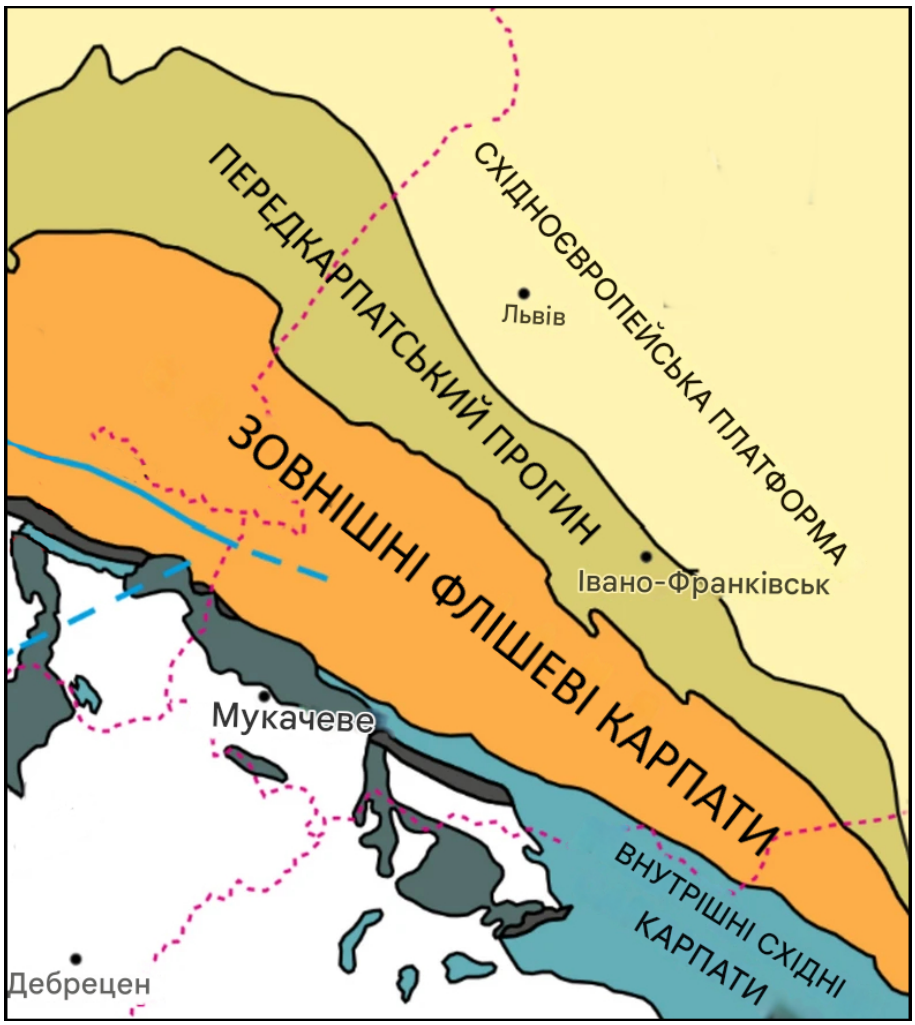


Рис. 1. Геотектонічна позиція Зовнішніх Флішевих Карпат та поширення флішевої формації згідно із картою районування Карпато-Паннонського регіону (за Majcin et al. 2018) [1]

На цій території прокладені та десятки років функціонують системи лінійних транспортних магістралей: три газопроводи, нафтопровід «Дружба», етиленопровід, три транскарпатські залізничні шляхи, чотири автомагістралі, що з'єднують Передкарпаття із Закарпаттям, чотири Високовольтних ліній електропередач, кілька магістральних ліній зв'язку, для будівництва яких проводились спеціалізовані інженерно-геологічні та гідрогеологічні вишукування, де час від часу спостерігається активізація небезпечних геологічних процесів, у тому числі із негативними наслідками для лінійних інфраструктурних об'єктів (осуви, обвали, ерозія, селеві потоки та ін.), на деяких проводяться постійні рубки дерев в охоронній зоні (ЛЕП) та ведеться моніторинг за найбільш небезпечними ділянками.

Такий широкий спектр лінійних транскарпатських інфраструктурних об'єктів, а також чисельні ділянки давньої та сучасної забудови населених пунктів та споруд поза їх межами, вимагає, керуючись діючими нормативними вимогами, дозволяє окремо оцінити не тільки природні інженерно-геологічні та гідрогеологічні умови із чітко встановленими обмеженнями, але інтерполювати придатність давно техногенно навантажених територій вищезгаданих інфраструктурних об'єктів, до нових об'єктів будівництва, пов'язаних із відновлюваною енергетикою в межах флішевої формації Карпат.

Карпатська флішева формація (чергування різновікових, тектонічно порушених, ритмічних перешарувань пісковиків, алевролітів та алевролітів), по при достатню несучу здатність як скельних порід, що здатні витримати значні навантаження, все ж стримуються низкою інженерно-геологічних та гідрогеологічних обмежень, зумовлених геоморфологічними чинниками складності, іноді моноклінальним заляганням, що

співпадає із експозицією схилу, в окремих випадках вираженою анізотропією міцнісних характеристик, у верхній частині розрізу зазвичай у різній степені тріщинуватих, а іноді обводнених порід. Все це, поряд з підвищеною сейсмічністю, сприяє зростанню ризиків активізаціями осувів, обвалів, ерозії, сходження селевих потоків. Саме ці чинники визначають будь-яке будівництво в межах флішевої формації Карпат як таке, що характеризується складними інженерно-геологічними умовами.

Досвід інженерно-геологічних та гідрогеологічних вишукувань, аналіз вже зведених об'єктів відновлюваної енергетики та допоміжної інфраструктури (під'їзних доріг, ліній електропередач, трансформаторних підстанцій та ін.), дозволяє виділити наступні інженерно-геологічні та гідрогеологічні обмеження проєктованого будівництва:

1. Інженерно-геологічні обмеження.

А) Несприятливе геолого-геоморфологічні умови моноклінального залягання флішевих відкладів із кутами 35º та більше, що співпадає із експозицією крутосхилу, що потенційно може загрожувати структурним осувам, за умови відсутності геоморфологічних чи структурно-тектонічних протекторів, які б запобігали можливим деформаціям при проєктованому навантажені (рис. 2).

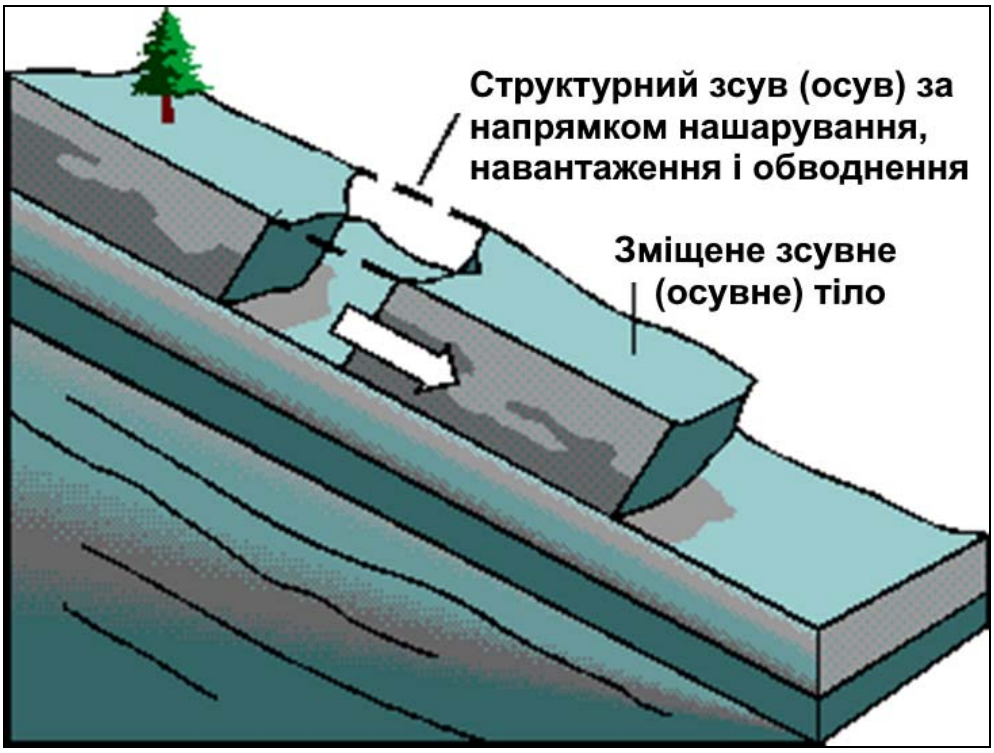


Рис. 2. Принципова схема активізації структурного зсуву (осуву) при моноклінальному заляганні флішевих відкладів, із кутами 35º та більше, що співпадає із експозицією крутосхилу, за умови відсутності геоморфологічних чи структурно-тектонічних протекторів, що запобігають можливим деформаціям при проєктованому навантаженні

Б) Круті схили, уступи, гребені та інші геоморфологічні обмеження, що мають вже проявлені наслідки схилових геодинамічних процесів – осувів, обвалів, осипів, опливин, площинних сповзань, що збільшує ймовірність їх повторної активізації, особливо в умовах їх додаткового статичного та динамічного навантаження.

В) Лінійна ерозія та підрізання схилів при прокладенні доріг, що можуть активізувати осувні та обвальні процеси.

Г) Літологічна неоднорідність флішу, особливо різновидів зі значною потужністю аргілітових прошарків у верхній частині геологічного розрізу, що в умовах відкритого доступу для атмосферних опадів призводить до швидкого звітрювання та оглинення, збільшують ймовірність ковзання по слабких (оглинених) прошарках.

Д) Висока тріщинуватість верхньої частини геологічного розрізу, насамперед пісковиків та алевролітів, мінлива потужність тріщинуватої (вивітрілої) зони, не витриманість шарів, що може зумовити нерівномірну деформативність основи та зниження міцності масиву, активізацію небезпечних геологічних процесів (рис. 3).



Рис. 3. Принципова схема масиву скельних (флішевих) порід у верхній частині геологічного розрізу, з мінливою потужністю тріщинуватої (вивітрілої) зони, не витриманістю шарів, що може зумовити нерівномірну деформативність основи та зниження міцності масиву, активізацію небезпечних геологічних процесів

2. Тектонічні обмеження.

А) Активні розломи та доведена тектонічна порушеність, що призводять до зниження міцності масиву.

Б) Зони тектонічного меланжу та вторинні тектонічні прояви, що можуть бути ймовірною причиною деформацій, в умовах коли фундаменти вітрогенераторів сприймають не лише вертикальні навантаження, а й значні циклічні горизонтальні та перекидальні моменти в умовах інтенсивних вітрових впливів.

В) Тектонічні печери та інші порожнини у флішевих відкладах тектонічно-зміщувального, суфозійного, гравітаційного (обвального) походження, що можуть бути виявлені при інженерно-геологічних та гідрогеологічних вишукуваннях чи земляних роботах для облаштування фундаментів.

3. Сейсмічність території**.**

А) Нормативна сейсмічність території поширення флішевої формації в Українських Карпатах, згідно із картою ОСР-2004-В становить 7 балів шкали МСК-64 (рис.4).

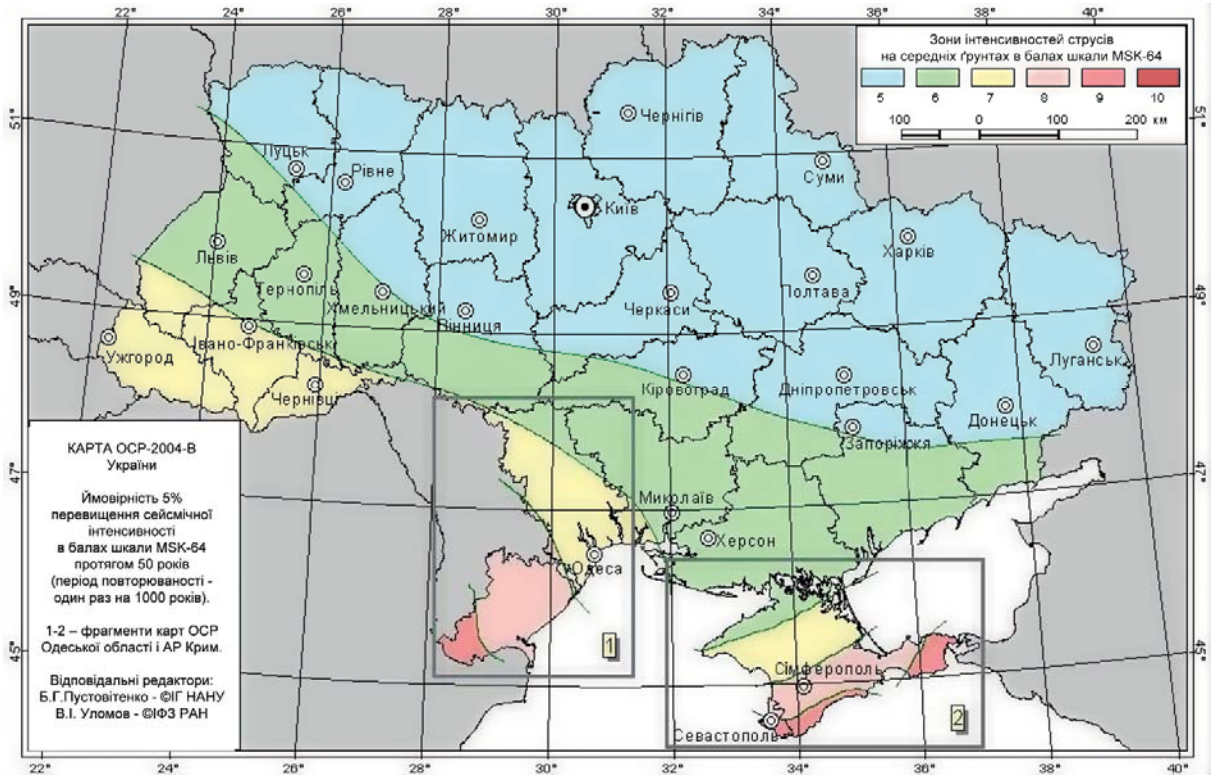


Рис. 4. Карта ОСР-2004-В нормативної сейсмічності території України за шкалою МСК-64 згідно Державних будівельних норм «Будівництво в сейсмічних районах» [3]

Б) Згідно Державних будівельних норм «Будівництво в сейсмічних районах» для невивітрілих та слабовивітрілих скельних ґрунтів усіх видів нормативна сейсмічність на бал нижча від значень карти ОСР-2004-В нормативної сейсмічності за шкалою МСК-64. Саме тому використання скельних ґрунтів флішевої формації в якості геологічної основи, знижує нормативну сейсмічність із 7 до 6 балів, а використання товщі елювіальних, делювіальних, колювіальних схилових четвертинних відкладів, насипних неоднорідних ґрунтів, навпаки збільшує нормативну сейсмічність з 7 да 8 балів за шкалою МСК-64 [3].

В) Мікросейсмічні впливи на скельний ґрунтовий масив флішевих порід, які потенційно можуть вплинути на зміни напружено-деформованого та тріщинно-фільтраційного стану, особливо в умовах тріщинуватості та тектонічної розущільненості, коли багаторазові слабкі коливання, періодичне відкриття/закриття тріщин, можливі резонансні явища, вібраційні впливи можуть ініціювати циклічне деформування тріщин, їх розкриття з часом, накопичення циклічних деформацій, зниження міцності масиву, особливо за умови поєднання тріщинуватості флішу, значного вмісту аргілітів, що зазнали звітрювання та обводнення, локалізованих на крутосхилі із додатковим мікросейсмічним навантаженням [4].

4. Гідрогеологічні обмеження.

А) Високий рівень залягання ґрунтових вод, особливо на ділянках сезонного підняття та поблизу нисхідних джерел та потічків [5, 6, 7].

Б) У зонах впливу високодебітних джерел тріщинного водоносного горизонту.

В) Ділянки виходу на поверхню напірних підземних вод та висхідних джерел, у тому числі розкритих при земляних роботах.

Г) Обводнені зони тектонічних порушень.

Д) Фундаменти вітроенергетичних установок не можуть бути баражем (водонепроникним) бар’єром для потоків підземних вод та змінювати гідрогеологічний режим геологічного середовища гідрологічний режим поверхневих вод.

Е) Хімічний склад та агресивність вод до конструкцій фундаменту.

5. Унікальні геологічні, геоморфологічні, геотектонічні, стратиграфічні, палеонтологічні та інші знахідки, виявлені при земляних роботах для облаштування фундаментів, які потенційно можуть розглядатися як геосайти та геологічні пам'ятники природи, що потребують збереження та охорони [8] (рис. 5).



Рис. 5. Вигляд на найвищу вершину в межах Верховинського вододільного хребта г. Пікуй

Висновки. За результатами проведених досліджень, можна зробити наступні узагальнюючі висновки щодо обмежень при виборі локацій для будівництва вітроустановок:

1. Доцільно прийняти до уваги результати спеціалізованих інженерно-геологічних та гідрогеологічних вишукувань для діючих систем лінійних транспортних магістралей в Українських Карпатах, де час від часу спостерігається активізація небезпечних геологічних процесів, у тому числі із негативними наслідками для лінійних інфраструктурних об'єктів (осуви, обвали, ерозія, селеві потоки та ін.). а також результати моніторингових спостережень за найбільш проблемними ділянками цих територій щодо активізації геодинамічних процесів.

2. За аналізом результатів інженерно-геологічних та гідрогеологічних вишукувань на об'єктах проєктованого будівництва вітроенергетичних установок та моніторингових спостережень за вже діючих кілька років об'єктами відновлюваної енергетики на території поширення флішевої формації Карпат, дають підстави виділити 5 найважливіших інженерно-геологічних та гідрогеологічних обмежень для вибору оптимальних ділянок під будівництво, кожен з яких має бути оцінений у категоріях від низького ризику (сприятливості) до високого ризику.

3. Визначальними є інженерно-геологічні обмеження, геолого-геоморфологічні умови, а саме особливості залягання флішевих відкладів, при значних кутах падіння, моноклінальному заляганні, паралельно до ухилу схилу, наявності зон підвищеної тріщинуватості, звітрювання та обводнення аргілітових прошарків може суттєво підвищувати ризики структурних осувів (зсувів) та інших небезпечних геологічних процесів.

4. Особливо важливими є тектонічні обмеження, пов'язані із поширенням активних розломів та доведеною тектонічною порушеністю, зони тектонічного меланжу та вторинні тектонічні прояви, тектонічні печери та інші порожнини у флішевих відкладах тектонічно-зміщувального, суфозійного, гравітаційного (обвального) походження, що можуть бути виявлені при інженерно-геологічних та гідрогеологічних вишукуванннях чи земляних роботах та повинні враховуватись при проєктуванні.

5. Обмеження пов'язані із сейсмічністю території, згідно Державних будівельних норм «Будівництво в сейсмічних районах», при використання скельних ґрунтів флішевої формації в якості геологічної основи, знижує нормативну сейсмічність із 7 до 6 балів, а використання товщі елювіальних, делювіальних, колювіальних схилових четвертинних відкладів, насипних неоднорідних ґрунтів, навпаки збільшує нормативну сейсмічність з 7

да 8 балів за шкалою МСК-64 [3], а також мікросейсмічні впливи, які потенційно можуть вплинути на зміни напружено-деформованого та тріщинно-фільтраційного стану.

6. Важливо враховувати гідрогеологічні обмеження– визначеиі рівнями підземних вод, водопроникністю, дебітами джерел, хімічним складом та агресивністю вод до конструктивних елементів фундаментів, а також неприпустимість ефекту баражу.

7. Виявлені унікальні геологічні, геоморфологічні, геотектонічні, стратиграфічні, палеонтологічні та інші об'єкти та знахідки на етапі проведення вишукувань, а також при виконанні земляних робіт повинні розглядатися як потенційно можливі геосайти та геологічні пам'ятники природи, що потребують збереження та охорони.

8. Синергетичний вплив зазначених вище обмежень на конкретних локаціях проєктування та будівництва вітроенергетичних установок при високій їх ймовірності для значної кількості чинників, загрожує ризикам порушення стійкості геологічного середовища, зміні гідрогеологічних умов, активізації небезпечних геодинамічних процесів та руйнації чи пошкодженні об'єктів будівництва.

Список використаних джерел:

1. Про схвалення Стратегії розвитку розподіленої генерації на період до 2035 року і затвердження операційного плану заходів з її реалізації у 2024 - 2026 роках. Розпорядження КМУ № 713-р від 18 липня 2024 р. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/713-2024-р#Text

2. Majcin D. Klippen Belt, Flysch Belt and Inner Western Carpathian Paleogene Basin Relations in the Northern Slovakia by Magnetotelluric Imaging / D. Majcin, V. Bezák, R. Klanica, J. Vozar, J. Pek, D. Bilcik, J. Telecký // Pure and Applied Geophysics. October 2018. vol. 175(6). P. 3555–3568. DOI: 10.1007/s00024-018-1891-0. Доступ в мережі Інтернет: https://www.researchgate.net/publication/325179611_Klippen_Belt_Flysch_Belt_and_Inner_Western_Carpathian_Paleogene_Basin_Relations_in_the_Northern_Slovakia_by_Magnetotelluric_Imaging

3. ДБН В.1.1-12:2014. Будівництво у сейсмічних районах України / Видання офіційне. Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України// К., 2014. – 109 с. Доступ в мережі Інтернет: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3038077155897509804?doc_type=2

4. Дмитренко Л.В. Вітроенергетичні ресурси в Україні /Л.В. Дмитренко, С.Л. Барандіч // Наук. праці УкрНДГМІ, 2007, Вип. 256. С.166-173.

5. Дубей Н.В. Гідрогеологія та інженерна геологія:підручник /Н. В. Дубей. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ Факел, 2008. – 244 с.

6. Колодій В.В. Гідрогеологія. – Львів: ВЦ Львів. Нац. унів-ту, 2010. – 368 с.

7. Рудько Г. І. Техногенно-екологічна безпека геологічного середовища (наукові та методологічні основи). – Львів: Видав. центр ЛН У імені Івана Франка, 2001. – 359 с.

8. Цись П. Н. Геоморфологія УРСР / П. Н. Цись. – Львів : Видавництво Львівського Університету, 1962. – 224 с.

УДК 504.064:004.9

ГІС-МОДЕЛІ КОМПЛЕКСНОЇ ОЦІНКИ ЗАБРУДНЕНИХ ТЕРИТОРІЙ ВНАСЛІДОК ВІЙСЬКОВИХ ДІЙ

Трофимчук О.М., *член-кор. НАНУ, д. техн. н., професор,*
Триснюк В.М., *д. техн. н., професор.,trysnyuk@ukr.net,*
Інститут телекомунікацій та глобального інформаційного простору

В роботі запропоновано підхід до комплексної геоінформаційної оцінки територій, забруднених унаслідок військових дій. Показано, як поєднати результати аналізу ґрунтів і рослинності з характеристиками літології, рельєфу, площі ураження та гідрографічної мережі. Описано побудову тематичних шарів, бальне оцінювання і формування карти пріоритетності обстежень. Розмежовано фактичне забруднення, потенційні шляхи міграції та невизначеність за відсутності польових проб.

Ключові слова: геоінформаційні системи, військові дії, забруднення ґрунтів, екологічна безпека, просторове моделювання, моніторинг.

GEOINFORMATION TECHNOLOGIES FOR GROUNDWATER CONDITION ASSESSMENT

Trofymchuk O., *corres. member NASU, Dr. Sci. (Eng.), professor,*
Trysnyuk V., *Dr. Sci. (Eng.), professor, trysnyuk@ukr.net,*
Institute of Telecommunications and Global Information Space

An integrated GIS approach is proposed for assessing territories potentially contaminated by military actions. Soil and vegetation measurements are combined with lithology, relief, affected area and drainage characteristics. The workflow supports thematic mapping and prioritization of field surveys while distinguishing measured contamination from modeled migration pathways.

Keywords: geographic information systems, military actions, soil contamination, environmental safety, spatial modelling.

Постановка проблеми. Військові дії супроводжуються механічним порушенням ґрунтового покриву, руйнуванням промислових і транспортних об’єктів, пожежами та утворенням осередків хімічного забруднення. Склад забруднювачів залежить від конкретного джерела і потребує лабораторного підтвердження. Водночас залишкове забруднення території після припинення бойових дій може поширюватися поверхневим стоком, переноситися в рослинність і надходити до ґрунтових вод. Через обмежений доступ до небезпечних ділянок дані спостережень є нерівномірними. Для вибору місць відбору проб та черговості відновлювальних робіт потрібна модель, яка одночасно враховує виміряний стан компонентів довкілля і просторові умови перенесення речовин.

Аналіз останніх досліджень. Дослідження еколого-геологічного стану підземних вод і факторів їх деградації активно розвиваються в українській та зарубіжній науковій традиції. Увага приділяється питанням впливу техногенних навантажень, зокрема промислових і аграрних викидів, на зміну гідрохімічних показників водоносних горизонтів, а також методикам оцінки природної захищеності ґрунтових вод. Вагомий внесок у цій сфері зроблено через створення карт природної захищеності підземних вод, які дозволили здійснити базове районування територій за ступенем вразливості до забруднення.

Важливим напрямом наукових пошуків є використання геоінформаційних систем (ГІС) для інтегрованого аналізу даних та просторового моделювання. ГІС-технології забезпечують можливість поєднання інформації про літологічний склад зони аерації, її потужність та фільтраційні властивості, що дозволяє оцінювати час і масштаби проникнення забруднюючих речовин у ґрунтові води. Такі підходи успішно застосовуються для прогнозування поширення нітратів, сульфатів, важких металів і радіонуклідів у межах різних геологічних регіонів України[1]..

Окрему увагу приділено проблемам геоінформаційного моделювання та управління екологічними викликами під час російсько-української війни, які розглядаються в низці опублікованих праць. Зокрема, у дослідженнях Трофимчука О.М., Яковлєва Є.О.,

Мальованого М.С., Архипової Л.М. та інших авторів аналізується вплив бойових дій на підземні й поверхневі води, ризики затоплення шахт, деградацію ландшафтів та загострення проблем екологічної безпеки. Ці роботи підкреслюють необхідність застосування сучасних методів дистанційного зондування Землі, космічної зйомки та автоматизованого дешифрування даних для моніторингу окупованих і прифронтових територій.

Таким чином, наявна наукова база окреслює як фундаментальні підходи до оцінки захищеності підземних вод, так і новітні технологічні рішення, що дають змогу враховувати надзвичайні ситуації, пов'язані з воєнними діями. Це створює основу для подальшого вдосконалення системи екологічного моніторингу та розробки практичних інструментів управління ризиками на рівні державної політики та регіональних стратегій.

Мета роботи є обґрунтувати структуру ГІС-моделі комплексної оцінки забруднених територій та порядок її застосування для районування, планування моніторингу й визначення першочергових природоохоронних заходів. Методичну основу становить поданий у додаткових матеріалах підхід до оцінювання екологічної безпеки колишніх військових об'єктів [1–3]. Для територій сучасних бойових дій він потребує окремої перевірки вихідних даних і адаптації шкал.

Виклад основного матеріалу. Базу даних формують геоприв'язані результати аналізу ґрунту за горизонтами, рослинного покриву і контрольних (фонових) проб, межі ймовірних джерел впливу, цифрова модель рельєфу, гідрографічна мережа, геологічна та гідрогеологічна інформація, землекористування і доступні матеріали дистанційного зондування. Для кожного запису зберігають дату, координати, метод аналізу, межу виявлення та позначку якості. Дані різних дат не слід зводити до однієї карти без перевірки змін після пожеж, паводків чи повторних уражень.

Польові точки відбору проб наносять на топографічну основу в єдиній системі координат. За даними лабораторних вимірювань створюють шари вмісту окремих речовин, приведеного сумарного коефіцієнта концентрації D та комплексного індексу забруднення рослинності I. Порівняння виконують із відповідними фоновими значеннями та застосовними нормативами. Інтерполяція між точками дає лише оцінку просторового розподілу: її результат перевіряють за щільністю проб, особливостями рельєфу й джерел впливу; за великих прогалин відображають невизначеність або залишають ділянку без класу забруднення.

Компонентна модель включає послідовність «джерело - ґрунт - рослинність / поверхневий стік - водотік / зона аерації - ґрунтові води - реципієнт». Вона дозволяє розрізняти ділянку накопичення від потенційного коридору міграції. Для ґрунтових вод враховують потужність і літологічний склад зони аерації: проникні породи та мала глибина водоносного горизонту підвищують потенційну вразливість. Супутникові знімки допомагають виявити порушення поверхні, зміну рослинності й підтоплення, проте самі собою не встановлюють концентрацію конкретного забруднювача.

Індексна оцінка. У матеріалах [2] для колишніх військових об'єктів запропоновано п'ять основних груп показників: забруднення ґрунтів D, забруднення рослинного покриву I, транзитний потенціал підстилаючих порід G, площа забруднення S та густота гідрографічної мережі R. Кожен показник переводиться у бали від 1 до 20. Узагальнену суму записуємо як $I = D_б + I_б + G_б + S_б + R_б$, де індекс «б» означає бальне значення. Підвищення I відповідає погіршенню стану за прийнятою шкалою. Наведені у джерелі пороги 0–10, 11–25, 26–50, 51–75 і 76–100 балів слід розглядати як вихідний варіант класифікації: оскільки сума п'яти показників з мінімумом 1 бала не дорівнює нулю, перед практичним використанням нижню межу шкали потрібно уточнити.

Розробка карти передбачає нормалізацію просторової роздільності шарів, накладання меж джерел впливу й ділянок відбору проб, присвоєння балів кожній територіальній одиниці та обчислення сумарного індексу. Додатковими модифікаторами можуть бути залісненість F і вертикальна розчленованість H. У вихідній методиці

залісненість понад 40 % пов’язана з кращою здатністю локалізувати забруднення, а менше 23 % - зі слабшою стійкістю; для розчленованості наведено інтервали до 10 м, 10–50 м і понад 50 м [4]. Ці межі отримано для конкретного типу об’єктів, тому їх не можна механічно переносити на всі ландшафти України. Ліс може накопичувати речовини у біомасі, а більша густота водотоків одночасно полегшує перенесення і збільшує кількість потенційно вразливих водоприймачів.

Для сучасних територій бойових дій клас ризику доцільно подавати разом із рівнем достовірності. Високу достовірність забезпечують актуальні польові проби та встановлене джерело забруднення; середню - часткові вимірювання й узгоджені непрямі ознаки; низьку - лише дистанційні спостереження або відомості про можливе ураження. Такий поділ запобігає ототожненню гіпотетичного впливу з підтвердженим забрудненням. Порівняння карт за різні періоди дає змогу визначати нові осередки, напрямки поширення та ділянки, де потрібне повторне обстеження.

Практичне застосування. Підсумкова карта має містити окремі шари виміряного перевищення, природної вразливості, шляхів міграції, об’єктів водопостачання та невизначеності. На їх основі визначають пріоритети: першочергове лабораторне обстеження місць із можливим впливом на населення й водні об’єкти; локалізацію підтверджених осередків; довгострокові спостереження за ґрунтом і водою; добір способу рекультивації після уточнення складу забруднення. Роботи в зонах мінної небезпеки планують лише з урахуванням установлених обмежень доступу (рис.1).

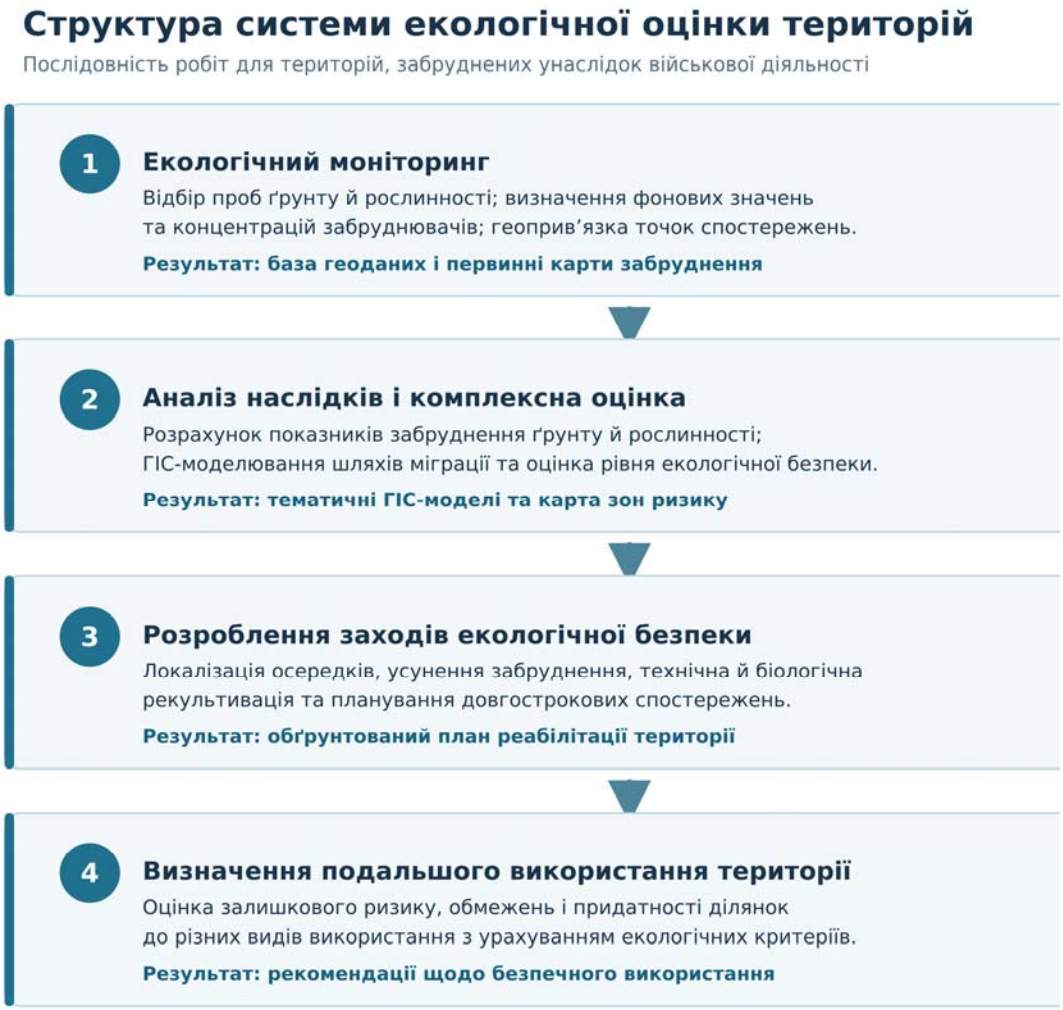


Рис. 1.Структура оцінки екологічної оцінки територій

Перевірка моделі. Якість районування оцінюють за незалежними контрольними пробами, які не використовували під час інтерполяції. Для кожного показника порівнюють прогнозований клас із результатом вимірювання, фіксують частку правильних віднесень і аналізують випадки пропуску небезпечних ділянок. Окремо перевіряють чутливість підсумкового класу до балів D, I, G, S і R: якщо незначна зміна ваги одного шару різко змінює межу зони, її позначають як нестійку і планують додаткове обстеження. Фонові ділянки відбирають з урахуванням типу ґрунту та землекористування, щоб природні геохімічні відмінності не були помилково віднесені до наслідків війни.

Масштаб картографування визначається найменш детальним із необхідних вихідних шарів. Регіональна геологічна карта придатна для попереднього визначення районів уваги, але не для встановлення меж окремої забрудненої ділянки. Під час переходу від регіонального до локального рівня потрібні докладніші дані про фільтраційні властивості порід, напрям стоку, глибину ґрунтових вод та історію використання об’єкта. Так само порівняння стану до і після бойових дій потребує зіставних сезонів спостереження, оскільки стан рослинності та вологості ґрунту змінюється і без воєнного впливу.

Результати моделювання доцільно представляти у двох взаємопов’язаних продуктах: аналітичній карті для фахівців з доступом до джерел даних і карти пріоритетів для планування робіт. Перша показує значення окремих показників та місця відбору проб, друга — класи, достовірність і рекомендовані наступні дії. Оновлення карт після кожної серії вимірювань дає змогу відстежувати, чи зменшується площа підтвердженого забруднення після локалізації та рекультивації.

Висновки. Комплексна ГІС-модель поєднує аналітичні дані про стан ґрунтів і рослинності з природними чинниками міграції та дає просторову основу для планування моніторингу забруднених територій. Бальна система D, I, G, S, R придатна як прозора схема попереднього районування за умови перевірки шкал на репрезентативних ділянках. Окреме відображення достовірності й актуальності даних є необхідним для коректної інтерпретації результатів, особливо там, де польові вимірювання тимчасово недоступні.

Список використаних джерел:

1. Трофимчук О.М., Зорін Д.О., Триснюк В.М. Екологічна безпека підтоплених паводками територій / О.М. Трофимчук, Д.О., Зорін, В.М. Триснюк – Наукова думка. – Київ , 2024. С.248

2. Архипова Л.М. Методи оцінки екологічної небезпеки природно-технічних систем в районах нафтогазовидобутку / Л.М. Архипова // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – №3 (29), 2011. – С. 29-33.

3. Андрєєв С.М., Березіна С.І., Бутенко О.С. та ін. Геомоделі в завданнях еколого-економічних оцінок. – Київ: Видавництво Юстон, 2018. – 255 с.

4. Trysnyuk V. Geoinformation technologies for monitoring forest protection plantati (2023). 17th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment, Monitoring 2023. Nov 2023, Volume 2023, p.1-5. DOI: https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023520077

УДК 502.171:622.333+550.42:546.72/74(477.83)

МОДЕЛЮВАННЯ АТМОСФЕРНО ЗУМОВЛЕНОГО ВИЛУГОВУВАННЯ ЗАЛІЗА З ПОРОДНОГО ВІДВАЛУ ЦЗФ «ЧЕРВОНОГРАДСЬКА»

Кочмар І.М., *irynalevytska1@gmail.com;*
Карабин В.В., *д. тех. н, професор, vasyl.karabyn@gmail.com,*
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Львів, Україна

Породні відвали вуглевидобування та вуглезбагачення є тривалими джерелами техногенного впливу, у межах яких атмосферні опади, окиснення та термічні перетворення порід визначають міграцію хімічних елементів. На прикладі відвалу ЦЗФ «Червоноградська» обґрунтовано необхідність прогнозування вилуговування заліза з урахуванням його значного вмісту в породах, різних форм знаходження та зміни водорозчинності після термічного впливу. Показано, що результати різних видів екстракції характеризують окремі сторони міграційної здатності Fe і не можуть самостійно відображати його довготривалий потік із відвалу. На основі лабораторних колонкових досліджень, теорії подібності, розмірнісного та регресійного аналізу встановлено залежність між кількістю атмосферних опадів і масою вилугуваного заліза. За середньорічної кількості опадів 607,9 мм прогнозована маса винесення становить близько 1212 кг Fe на рік для всього відвалу. Запропонований підхід може застосовуватися для оцінювання екологічного навантаження та планування моніторингу гірничопромислових територій.

Ключові слова: залізо, породний відвал, вилуговування, атмосферні опади, математичне моделювання, екологічна безпека.

MODELING OF ATMOSPHERICALLY INDUCED IRON LEACHING FROM THE WASTE ROCK DUMP OF THE CHERVONOHRADSKA CENTRAL COAL PREPARATION PLANT

Kochmar I., *irynalevytska1@gmail.com;*
Karabyn V., *Dr. Sci. (Eng.), professor, vasyl.karabyn@gmail.com,*
Lviv State University of Life Safety, Lviv, Ukraine

Coal mining and coal preparation waste dumps are long-term technogenic sources where precipitation, oxidation and thermal transformation of rocks control the migration of chemical elements. Using the waste rock dump of the Chervonohrad Central Coal Preparation Plant as a case study, the need to predict iron leaching is substantiated by its high content in waste rocks, variable occurrence forms and changes in water solubility after thermal exposure. Results obtained with different extraction procedures characterize different aspects of Fe mobility and cannot alone represent its long-term flux from the dump. Laboratory column experiments combined with similarity theory, dimensional analysis and regression analysis were used to quantify the relationship between annual precipitation and leached iron. At an average annual precipitation of 607.9 mm, the predicted Fe release from the entire dump is approximately 1212 kg per year. The proposed approach can support environmental load assessment and monitoring of mining-affected areas.

Keywords: iron, waste rock dump, leaching, thermal transformation, precipitation, mathematical modeling.

Вступ. Породні відвали вуглевидобування та вуглезбагачення є складними техногенними системами, у яких геохімічні процеси тривають упродовж десятиліть після складування порід. Інфільтрація атмосферних вод, окиснення сульфідних мінералів і локальні осередки самонагрівання змінюють мінеральний склад та умови міграції хімічних елементів. За таких умов екологічну небезпеку визначає не лише загальний вміст елемента, а й здатність його сполук переходити у водну фазу та формувати довготривалий потік за межі відвалу.

Залізо є показовим елементом для такого аналізу. У породах відвалу ЦЗФ «Червоноградська» його валовий вміст змінюється від 4885,8 до 19958,08 мг/кг, у ацетатно-амонійній витяжці – від 1545,15 до 3448,62 мг/кг, а у водній – від 0,31 до 5,1 мг/кг. Середній коефіцієнт переходу Fe у водну витяжку відносно валової форми становить близько 0,0003 [1]. На перший погляд це свідчить про невисоку водну мобільність заліза. Проте така оцінка характеризує лише частку елемента, що переходить у розчин за конкретних умов експерименту, і не враховує масштаб відвалу, тривалість його існування, повторюваність зволоження та термічну неоднорідність порід.

Мінералогічні дослідження підтверджують важливість урахування форм знаходження Fe. У складі аргіліту та алевроліту відвалу виявлено сидерит ($FeCO_3$), частка якого становить відповідно 4,2 і 18,9 мас. % [2]. Крім того, у відвальних породах наявний пірит (FeS_2), окиснення якого супроводжується утворенням сульфатів заліза та сірчаної кислоти. Такі процеси змінюють кислотно-лужні й окисно-відновні умови та можуть впливати на подальше вилуговування Fe.

Окремим фактором є термічне перетворення порід унаслідок самонагрівання та горіння відвалів. Дані щодо рухомих форм металів показали, що після високотемпературного впливу вміст Fe, який екстрагується ацетатно-амонійним буфером, суттєво зменшується: приблизно у 21 раз для аргіліту та у 33 рази для алевроліту [2]. Водночас експерименти з водним промиванням аргіліту дали протилежну тенденцію для водорозчинної форми: концентрація Fe у фільтраті зросла з 0,0022 мг/л для негорілої породи до 0,037 мг/л для термічно зміненої, тобто у 17,4 раза [3]. Одночасно мінералізація фільтрату після 24 год промивання зросла зі 185 до 462 ppm [3]. Отже, термічний вплив не можна однозначно трактувати як збільшення або зменшення «рухомості» заліза: результат залежить від форми його знаходження, типу екстрагента та фізико-хімічного стану породи.

Саме ця неоднозначність є ключовим аргументом на користь прогнозного моделювання. Окремий показник валового вмісту, біодоступної форми або водної витяжки відображає лише певний стан системи, тоді як для оцінки екологічного навантаження необхідно визначати масу Fe, яка потенційно може залишити техногенний масив за конкретний проміжок часу.

Мета дослідження – прогнозування вилуговування заліза з порід відвалу ЦЗФ «Червоноградська» внаслідок дії метеогенних опадів з урахуванням відмінностей у формах знаходження Fe та впливу термічної трансформації порід.

Матеріали та методи. Експериментальну основу моделі сформовано за результатами колонкового промивання аргіліту, який становить основну частку порід відвалу. Для дослідження використовували термічно незмінені та змінені зразки, через які за контрольованої швидкості пропускали деіонізовану воду. Визначені концентрації Fe у фільтратах використано як емпіричну основу для масштабування лабораторного процесу. Для переходу від лабораторної моделі до параметрів реального відвалу застосовано теорію подібності та розмірнісний аналіз, а параметри залежності між кількістю води та масою вилугуваного заліза встановлювали регресійним методом [4].

Результати та обговорення. Розрахунки наведені у роботі [4] підтвердили пряму залежність між кількістю атмосферних опадів і масою Fe, що вилуговується з відвальних порід. За середньорічної кількості опадів 607,9 мм прогнозована інтенсивність винесення становить близько 24,8 кг Fe/(млн $м^3$·рік). Для відвалу об’ємом 48,89 млн $м^3$ це відповідає приблизно 1212 кг Fe на рік [4]. Збільшення річної кількості опадів на 1 мм приводить до зростання прогнозованої маси вилугуваного заліза приблизно на 0,5 кг/рік для всього відвалу, або на 0,01 кг/(млн $м^3$·рік).

Одержаний результат показує, що низька частка переходу Fe у водну фазу не повинна розглядатися ізольовано від масштабу джерела. Відвал містить десятки мільйонів кубічних метрів породи, а контакт із водою повторюється протягом багатьох років. Додатково термічно змінені ділянки характеризуються іншою структурою, мінеральними фазами та складом фільтрату. Тому навіть невеликі концентрації водорозчинного Fe можуть формувати суттєвий сумарний потік при масштабуванні на весь техногенний масив.

Практичне значення моделі полягає у можливості використовувати гідрометеорологічні дані для попередньої оцінки річного навантаження Fe без необхідності безперервного масштабного відбору проб. Такий підхід дає змогу обґрунтовувати періодичність моніторингу, виділяти ділянки термічно змінених порід як окремі об’єкти спостережень і прогнозувати посилення винесення Fe у роки з підвищеною кількістю опадів. Водночас модель має доповнюватися польовими даними про pH, температуру,

окисно-відновні умови та неоднорідність відвалу, оскільки ці фактори можуть суттєво змінювати форми знаходження і розчинність заліза [3, 5].

Висновки. Залізо у породах відвалу ЦЗФ «Червоноградська» характеризується значним валовим вмістом і складною формою міграційної поведінки. Термічне перетворення порід може одночасно зменшувати частку Fe, що екстрагується ацетатно-амонійним розчином, та суттєво підвищувати його вміст у водному фільтраті. Це підтверджує недостатність оцінювання екологічної небезпеки лише за одним видом хімічного вилучення. Прогнозування маси вилугуваного Fe з урахуванням атмосферних опадів дає змогу оцінити довготривале навантаження на ґрунтове водне середовища. Отримана залежність може бути використана для оптимізації екологічного моніторингу та обґрунтування природоохоронних заходів у межах гірничопромислових територій.

Список використаних джерел:

1. Кочмар І. М., Карабин В. В. Поширення окремих важких металів у породах терикона центральної збагачувальної фабрики «Червоноградська» Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну. *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності.* 2022. № 25 С. 5-12. https://doi.org/10.32447/20784643.25.2022.01

2. Kochmar I., Karabyn V., Stepova K., Stadnik V., Sozansky M. Thermal Impact on Heavy Metal Bioavailability in Burnt Rocks of Waste Heap of Chervonohradska Coal-preparation Plant (Lviv Region, Ukraine). *Geomatics and Environmental Engineering.* 2024. 18(1). 117–133. https://doi.org/10.7494/geom.2024.18.1.117

3. Kochmar I.M., Karabyn V.V., Kordan V.M. Ecological and geochemical aspects of thermal effects on argillites of the Lviv-Volyn coal basin spoil tips. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu,* 2024, № 3. 100–107. https://doi.org/10.33271/nvngu/2024-3/100

4. Karabyn V., Kochmar I., Karabyn O., Linchevskyi Ye., Loik V., Babadzhanova O., Lazaruk Ya., Rogulia A., Smotr O., Synelnikov O. Predictive Modelling of Iron Leaching from Mining Waste: Civil Protection and Environmental Safety Implications. *Journal of Water and Land Development*. 2026. № 70. Pp. 23-29. https://doi.org/10.24425/jwld.2026.158725

5. Kochmar I., Karabyn V. Water Extracts from Waste Rocks of the Coal Industry of Chernvonograd Mining Area (Ukraine) – Problems of Environmental Safety and Civil Protection. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2023. 24 (1). P. 247–255. https://doi.org/10.12912/27197050/155209

UDC 622:502.3:004.9

OPTICAL IDENTIFICATION AND DIGITAL MONITORING OF THE STATE OF SUBSOIL-USE SITES

Dzhumelia E., *PhD, ORCID ID 0000-0003-3146-8725, elviradzhumelia@gmail.com;*
Fechan A., *Dr. Sc., Prof., ORCID ID 0000-0001-9970-5497, andrii.v.fechan@lpnu.ua;*
Khoverko Yu., *Dr. Sc., Prof., ORCID ID 0000-0002-7045-2729, yurii.m.khoverko@lpnu.ua;*
Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

The paper proposes an approach to digital monitoring of the physicochemical state of subsoil-use sites based on passive optical sensors, digital image processing, and automated identification techniques. The relevance of the approach is driven by the development of digital technologies in the mining industry and the need to obtain timely information on changes in the state of environmental components, particularly water bodies within areas affected by mining activities. A sensor tag based on an optically active polyaniline film, whose colour changes depending on environmental conditions, is proposed in combination with a QR code for sensor identification and storage of additional information about the monitored site. A digital reading algorithm has been developed that includes QR code detection and decoding, determination of the spatial position of the sensor tag, image preprocessing, and determination of its colour characteristics. The software implementation was carried out using the OpenCV library. Laboratory tests demonstrated the possibility of automated reading of encoded information and determination of the colour parameters of sensor tags. The proposed approach is considered a basis for further development of low-cost, remote, and non-destructive environmental monitoring tools for subsoil-use sites.

Keywords: subsoil use, environmental monitoring, optical sensor, colorimetry, digital identification, QR code

1. Introduction

The current development of the mineral resource sector involves not only the efficient use of subsoil resources but also adequate control of the impact of mining activities on environmental components. Timely acquisition of information on changes in the physicochemical parameters of water bodies, soils, and other components of the natural environment in areas associated with mineral extraction and processing is of particular importance. The digitalisation of the mining industry contributes to the wider adoption of sensor technologies, automated data collection, and real-time monitoring systems. In this context, the use of low-cost sensors is considered one of the directions for the development of digital and sustainable subsoil use (Cacciuttolo et al., 2023).

One of the important tasks of environmental monitoring in mining areas is water quality control. Changes in acidity, concentrations of dissolved substances, metals, and other parameters may be associated both with ongoing extraction processes and with abandoned or decommissioned mining sites. Acid mine drainage is a representative example, for which monitoring pH and other parameters is important when assessing the effectiveness of remediation measures. The application of optical methods for *in situ* monitoring of pH and oxygen has already been demonstrated in studies of acid mine drainage treatment processes (Reuß et al., 2023).

A promising direction for the development of such systems is the use of colorimetric sensors, in which changes in a controlled environmental parameter are accompanied by a change in the colour of the sensitive material. Colorimetric sensors offer the possibility of rapid detection of various pollutants and have potential for environmental monitoring, partly due to the simplicity of visual signal assessment (Liu et al., 2020).

The further development of digital cameras and mobile devices creates an opportunity to replace subjective visual colour assessment with digital analysis. Image-based digital colorimetry involves acquiring an image of a sensor element, extracting its colour characteristics, and converting them into numerical parameters. Current studies consider various colour spaces, including RGB, HSV, CIE XYZ, and L*a*b*, while digital colorimetry is regarded as a promising rapid and relatively low-cost approach for on-site analysis (Fan et al., 2021).

At the same time, the reliability of digital colour determination depends on image acquisition conditions, imaging geometry, illumination, and camera characteristics. Studies of smartphone colorimetry demonstrate the possibility of using built-in cameras for quantitative

determination of colour characteristics, while also highlighting the need to assess measurement error and control measurement conditions (Ciaccheri et al., 2023).

The practical application of digital colorimetry for environmental monitoring has also been demonstrated for water parameter determination. In particular, a mobile multi-channel colorimetric system has been proposed for field determination of water quality parameters, including turbidity, ammonium nitrogen, orthophosphates, and certain heavy metals (Xing et al., 2022). This confirms the potential of combining optical sensing principles with digital methods for data acquisition and processing.

In previous studies by the authors (Fechan et al., 2026), optical identification and passive sensor systems based on optically active materials were investigated. Non-contact sensors for optical identification and passive sensor elements for monitoring environmental parameters were studied. The results of these studies provide a basis for further development of digital reading of the optical signal from a sensor element.

However, for the practical use of a network of optical sensors, it is not sufficient to determine only the colour of an individual sensor tag. It is also necessary to establish which sensor, observation point, and monitoring site the obtained signal corresponds to. One way of addressing this issue is to combine a colour sensor tag with a QR code that can contain the sensor identifier, information about its location, and additional data on the controlled parameter. In this case, a digital camera simultaneously performs the functions of an identification and optical signal recording device.

The aim of the study is to investigate an algorithm for optical identification of sensor tags and digital reading of their colour parameters as a basis for digital monitoring of the state of subsoil-use sites.

2. Materials and Methods

The study is based on an optical sensor tag formed using a polyaniline film and a PVA–PANi composite material (polyvinyl alcohol–polyaniline). The sensor element is characterised by changes in its optical properties depending on environmental conditions, which makes it suitable as a basis for non-contact recording of changes in the controlled parameter. The methodology for obtaining and investigating polyaniline-based sensor films is described in previous studies by the authors (Tsizh et al., 2016; Aksimentyeva et al., 2018).

For digital identification of the sensor element, its combination with a QR code is proposed. This structure makes it possible to simultaneously obtain information about the sensor identifier, its spatial position, colour characteristics, and the value of the controlled parameter. In this study, pH was used as an example of the controlled parameter.

Digital information reading is performed from an image acquired using a digital camera. The algorithm consists of the following sequential operations:

1. detection of the QR code in the image;
2. determination of the coordinates of its corner points and geometric parameters;
3. decoding of the information encoded in the QR code;
4. determination of the location of the corresponding sensor tag;
5. image preprocessing;
6. extraction of the sensor-tag region based on its geometric characteristics;
7. determination of the colour parameters of the sensor element.

The OpenCV library, specifically the QRCodeDetector function, was used for QR code detection and decoding. If the quality of the original image is insufficient, additional conversion to grayscale and binarisation are applied. This approach improves the reliability of QR code detection under varying image acquisition conditions.

The position of the colour sensor tag is determined relative to the coordinates of the QR code. Since the QR code and sensor tag form a spatially fixed pair, the sensor search area can be restricted to the corresponding image region after the QR code has been identified. This reduces the amount of image data requiring further processing and simplifies subsequent extraction of the sensor element.

To determine the boundaries of the sensor tag, grayscale conversion, binarisation, and contour detection are applied. The presence of a contrasting frame around the coloured area is used as an additional feature for its localisation. After the sensor region has been extracted, its colour characteristics are determined and represented by the R, G, and B components.

Three test samples of sensor tags were used to verify the algorithm. The QR codes contained the position identifier, the colour value in the RGB system, and the corresponding pH value (Table 1).

Table 1

Test samples of sensor tags

No	RGB values	pH
1	R = 97, G = 157, B = 125	13.5
2	R = 21, G = 48, B = 77	6
3	R = 231, G = 56, B = 41	18

Thus, the research methodology combines a passive optical sensor element, QR-based identification, and digital image analysis. The obtained results are used to assess the feasibility of applying this approach as a basis for digital monitoring of the state of subsoil-use sites.

3. Research Results

To assess the performance of the proposed approach, digital reading of information from test sensor tags was performed, with each tag spatially coupled with a QR code. The QR code contained the sensor tag identifier, its colour characteristics in the RGB system, and the value of the controlled parameter, pH. This data structure made it possible to verify not only the correctness of QR code decoding but also the possibility of associating the obtained information with the corresponding sensor tag region in the digital image.

At the first stage, automatic detection of the QR code and decoding of the encoded information were performed. The QRCodeDetector functionality of the OpenCV library was used for this purpose. After successful recognition, the obtained information string was divided into separate blocks corresponding to the tag identifier, colour characteristics, and pH value. This format makes it possible to associate the optical measurement result with a specific sensor element.

The next stage involved determining the spatial position of the sensor tag. Its width, height, and orientation in the image were determined from the coordinates of the QR code corner points. Taking into account the predefined relative position of the QR code and the sensor tag, a search region for the colour sensor element was formed. Restricting the search region reduced the amount of image information requiring further processing.

To localise the colour region, the image was converted to grayscale, followed by binarisation and contour detection. The contrasting frame around the sensor tag was used as an additional geometric feature for its extraction. After determining the sensor element region, its colour characteristics were evaluated using the RGB components.

To verify the accuracy of digital reading, the values encoded in the QR code were compared with the values obtained from image analysis. For the second test sample, the encoded value of the *R* component was 21, whereas digital colour determination yielded a value of approximately 21.4. The relative deviation was approximately 1.9%.

The obtained result demonstrates the feasibility of using digital image processing for quantitative assessment of changes in the colour of the sensor element. At the same time, the accuracy of colour determination depends on illumination conditions, camera characteristics, imaging geometry, and the properties of the sensor surface. Therefore, practical application requires calibration of the sensor tags and standardisation of image acquisition conditions.

An important feature of the proposed approach is the combination of sensor identification and recording of its optical signal within a single digital reading process. The QR code can contain identification information, whereas the colour of the sensor tag serves as an information carrier reflecting the current state of the monitored environment. This creates an opportunity to

generate structured data for further accumulation, comparison, and spatial analysis of monitoring results.

For subsoil-use sites, this approach could potentially be used to organise distributed observation points. In particular, sensor tags can be considered as elements of a system for monitoring physicochemical parameters of water-related environmental components in areas associated with mineral extraction, as well as for monitoring disturbed areas after the cessation of deposit exploitation. However, the laboratory results should not be considered field validation of the approach. Further studies using natural environmental samples and assessing the influence of external factors are required to confirm the applicability of the technology under real-world conditions.

4. Conclusions

An approach to digital reading of information from optical sensor tags combined with QR codes has been proposed for sensor element identification and determination of its colour characteristics. This structure makes it possible to associate the optical signal with a specific sensor and encoded information about the controlled parameter.

An image processing algorithm has been investigated, including QR code detection and decoding, determination of the spatial position of the sensor tag, localisation of its region, and evaluation of colour characteristics using the RGB components. The software implementation using OpenCV enabled automated reading of the test sensor tags.

For the test sample, a relative deviation of approximately 1.9% was obtained for the *R* component compared with the encoded value. This result confirms the feasibility of using digital image analysis for quantitative assessment of the optical signal from sensor tags.

At the same time, the accuracy of digital colour determination depends on illumination conditions, camera characteristics, and image acquisition geometry. Therefore, further research should focus on calibration of sensor tags, standardisation of image acquisition conditions, and validation of the method using real environmental samples.

References

Aksimentyeva, O. I., Tsizh, B. R., Horbenko, Y. Y., Konopelnyk, O. I., Martynyuk, G. V., & Chokhan, M. I. (2018). Flexible elements of gas sensors based on conjugated polyaminoarenes. *Molecular Crystals and Liquid Crystals, 670*(1), 3–10. https://doi.org/10.1080/15421406.2018.1542057

Cacciuttolo, C., Guzmán, V., Catriñir, P., Atencio, E., Komarizadehasl, S., & Lozano-Galant, J. A. (2023). Low-cost sensors technologies for monitoring sustainability and safety issues in mining activities: Advances, gaps, and future directions in the digitalization for smart mining. *Sensors, 23*(15), 6846. https://doi.org/10.3390/s23156846

Ciaccheri, L., Adinolfi, B., Mencaglia, A. A., & Mignani, A. G. (2023). Smartphone-enabled colorimetry. *Sensors, 23*(12), 5559. https://doi.org/10.3390/s23125559

Fan, Y., Li, J., Guo, Y., Xie, L., & Zhang, G. (2021). Digital image colorimetry on smartphone for chemical analysis: A review. *Measurement, 171*, 108829. https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.108829

Fechan, A., Khoverko, Y., Shymchyshyn, O., Dzhumelia, E., & Daliavskyi, V. (2026). Passive sensors for non-contact monitoring ecosystems based on optically active environment. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics, 37*(1), 63. https://doi.org/10.1007/s10854-025-16468-2

Liu, B., Zhuang, J., & Wei, G. (2020). Recent advances in the design of colorimetric sensors for environmental monitoring. *Environmental Science: Nano, 7*, 2195–2213. https://doi.org/10.1039/D0EN00449A

Reuß, M., Oswald, S. E., Munz, M., & Kumke, M. U. (2023). Optical in situ monitoring of acid mine drainage remediation: Laboratory and model investigation. *Groundwater Monitoring & Remediation, 43*(4), 67–81. https://doi.org/10.1111/gwmr.12590

Xing, Y., Xue, B., Lin, Y., Wu, X., Fang, F., Qi, P., Guo, J., & Zhou, X. (2022). A cellphone-based colorimetric multi-channel sensor for water environmental monitoring. *Frontiers of Environmental Science & Engineering, 16*(12), 155. https://doi.org/10.1007/s11783-022-1590-z

Tsyzh, B., Aksimentyeva, O., Olhova, M., & Horbenko, Y. (2016). SENSORY PROPERTIES OF POLYANILINE FILMS, OBTAINED ON THE OPTICALLY TRANSPARENT CARRIERS. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series «Food Technologies»*, 18(2), 121–125. https://doi.org/10.15421/nvlvet6824

УДК 504.05:355.01(477.54)

АСПЕКТИ ТЕХНОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ В ХАРКІВСЬКІЙ ОБЛАСТІ У ЗВ'ЯЗКУ З ВОЄННИМИ ДІЯМИ

***Кононенко А.В.*[1]**, *к. геол. н., ORCID ID 0000-0003-0382-3910, kononenko_alina01@ukr.net;*
***Удалов І.В.*[1]**, *д. геол. н., професор, ORCID ID 0000-0003-3844-6481, igorudalov8@gmail.com;*
***Ломакіна О.С.*[1]**, *ORCID ID 0000-0003-3908-4638, oslomakina@ukr.net;*
***Липовський Д.Д.*[2]**, *dimon0342@gmail.com,*
1 – Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Харків, Україна
2 – Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків, Україна

У статті досліджено основні прояви та просторово-часові зміни техногенного навантаження на навколишнє природне середовище Харківської області внаслідок воєнних дій. Проаналізовано екологічні наслідки пошкодження промислових, нафтогазових, енергетичних і гідротехнічних об'єктів, які є додатковим фактором до традиційного техногенного навантаження регіону. Особливу увагу приділено трансформації природно-ресурсного потенціалу територій, пов'язаній із забрудненням ґрунтів і вод, викидами продуктів горіння, руйнуванням інфраструктури та змінами гідрологічного режиму. На прикладі Оскільського водосховища розглянуто наслідки пошкодження гідротехнічних споруд, що спричинило масштабне зниження рівня води, оголення донних відкладів, зміну умов живлення підземних вод і деградацію водних та прибережних екосистем. Для оцінювання просторово-часової динаміки водної поверхні та рослинного покриву використано дані дистанційного зондування Землі та спектральні індекси NDWI і NDVI. Встановлено багатокомпонентний характер воєнного техногенного впливу, екологічні наслідки якого можуть поширюватися за межі безпосередніх зон ураження. Обґрунтовано необхідність створення інтегрованої системи оцінювання воєнного техногенного навантаження на основі поєднання даних дистанційного зондування, геохімічного та гідрогеологічного моніторингу, що дозволить визначати території підвищеного екологічного ризику та обґрунтовувати пріоритети їх відновлення.

Ключові слова: Харківська область, воєнні дії, техногенне навантаження, навколишнє природне середовище, нафтогазовидобування, Оскільське водосховище.

ASPECTS OF TECHNOGENIC LOAD IN THE KHARKIV REGION DUE TO MILITARY ACTIONS

***Kononenko A.*[1]**, *Cand. Sci. (Geol.), ORCID ID 0000-0003-0382-3910, kononenko_alina01@ukr.net;*
***Udalov I.*[1]**, *Dr. Sci. (Geol.), Professor, ORCID ID 0000-0003-3844-6481, igorudalov8@gmail.com;*
***Lomakina O.*[1]**, *ORCID ID 0000-0003-3908-4638, oslomakina@ukr.net;*
***Lypovskyi D.*[2]**, *dimon0342@gmail.com,*
1 – O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkiv, Ukraine,
2 – V.N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine

The article examines the main manifestations and spatiotemporal changes regarding the technogenic load on the natural environment of the Kharkiv region resulting from military actions. It analyzes the environmental consequences of damage to industrial, oil and gas, energy, and hydraulic engineering facilities, which act as an additional factor alongside the region's traditional technogenic load. Particular attention is paid to the transformation of the territories' natural resource potential, associated with soil and water pollution, emissions of combustion products, infrastructure destruction, and changes in the hydrological regime. Using the Oskil Reservoir as a case study, the paper examines the consequences of damage to hydraulic structures, which resulted in a significant drop in water levels, the exposure of bottom sediments, altered groundwater recharge conditions, and the degradation of aquatic and riparian ecosystems. Earth remote sensing data and the NDWI and NDVI spectral indices were used to assess the spatiotemporal dynamics of the water surface and vegetation cover. The study identifies the multifaceted nature of military-induced technogenic impacts, noting that their environmental consequences can extend beyond the immediate zones of damage. It substantiates the need for an integrated system to assess military-induced technogenic pressure by combining remote sensing data with geochemical and hydrogeological monitoring; such a system would enable the identification of areas at high environmental risk and the determination of priorities for their restoration.

Keywords: Kharkiv region, military actions, technogenic pressure, natural environment, oil and gas extraction, Oskil Reservoir.

Вступ. Воєнні конфлікти є одним із найбільш масштабних чинників трансформації навколишнього природного середовища (НПС). Вибухи, пожежі, руйнування промислових і енергетичних об’єктів, пошкодження транспортної та гідротехнічної інфраструктури спричиняють надходження забруднювальних речовин до атмосферного повітря, ґрунтів, поверхневих і підземних вод. Особливої актуальності ця проблема набуває для Харківської області, яка внаслідок географічного розташування та тривалості бойових дій належить до територій України з високим рівнем воєнного техногенного навантаження.

Мета дослідження. Оцінити основні прояви та просторово-часові зміни техногенного навантаження на природне середовище Харківської області внаслідок воєнних дій, а також визначити основні екологічні наслідки пошкодження промислових і гідротехнічних об’єктів.

Методи дослідження. У роботі використано системний, порівняльно-географічний, статистичний та картографічний методи, а також методи просторово-часового аналізу даних дистанційного зондування Землі**.** Для оцінювання змін водної поверхні та стану рослинного покриву застосовано спектральні індекси NDWI (Normalized Difference Water Index**)** та NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)**.** Проведено порівняння супутникових даних за період 2021–2023 рр. для виявлення змін, пов’язаних із порушенням гідрологічного режиму Оскільського водосховища. Аналіз техногенного впливу здійснено з урахуванням розташування промислових, нафтогазових та інфраструктурних об’єктів, їх пошкодження внаслідок воєнних дій і потенційних шляхів поширення забруднювальних речовин.

Наукова новизна дослідження. Наукова новизна полягає у комплексному розгляді воєнного техногенного навантаження на Харківську область як сукупності взаємопов’язаних промислових, інфраструктурних, гідрологічних та екосистемних впливів. Удосконалено підхід до просторової оцінки наслідків воєнних дій шляхом поєднання аналізу техногенних джерел впливу з даними дистанційного зондування Землі. Обґрунтовано доцільність комплексного використання NDWI та NDVI для виявлення просторово-часової трансформації водних і рослинних компонентів території. На прикладі Оскільського водосховища показано, що пошкодження гідротехнічних споруд може мати не лише локальні, а й регіональні гідроекологічні та гідрогеологічні наслідки. Запропонований підхід створює методичну основу для подальшого формування інтегрального індексу воєнного техногенного навантаження та районування території Харківської області за рівнями екологічного ризику.

Основний матеріал дослідження. Харківська область історично характеризується значним розвитком нафтогазовидобувної промисловості. Після відкриття Шебелинського родовища на території області сформувався потужний комплекс видобування, переробки, зберігання та транспортування вуглеводнів. Значна частина об’єктів нафтогазового сектору в районах активних бойових дій зазнала пошкоджень. Показовими є удари по об’єктах видобування вуглеводнів у районі м. Берестин, нафтопереробному об’єкту в м. Мерефа, а також неодноразові ураження промислових об’єктів у Балаклійському районі.

Пошкодження та руйнування об’єктів нафтогазового комплексу супроводжуються викидами продуктів горіння, нафтопродуктів та інших небезпечних речовин, формуванням локальних осередків забруднення ґрунтів і поверхневих вод. Враховуючи тривалість бойових дій, накопичувальний характер впливу та недостатність оперативних даних щодо стану окремих територій, повна оцінка масштабів екологічних наслідків наразі є складною. Водночас уже наявні результати досліджень свідчать про значну трансформацію еколого-ресурсного потенціалу окремих районів області.

Особливого значення набуває регіональна трансформація гідрологічних та гідрогеологічних умов. Одним із найбільш показових проявів якої стали зміни, пов’язані з руйнуванням гідротехнічних споруд Оскільського водосховища.

Оскільське водосховище є одним із найбільших водосховищ України, розташованим на річці Оскіл у східній частині Харківської області. Його проєктний об'єм становить близько 474,3 млн м³, площа – 122,6 км², довжина – близько 84,6 км. Руйнування одного із затворів греблі 2 квітня 2022 року спричинило масштабне спрацювання водосховища (Українська природоохоронна група, 2022). За наведеними оцінками, одночасно було вивільнено близько 355,5 млн м³ води, що призвело до різкої зміни гідрологічного режиму річки Сіверський Донець та оголення значних площ донних відкладів. Зміна водного балансу території спричинила комплекс взаємопов'язаних еколого-гідрогеологічних наслідків:

- зниження рівня ґрунтових вод та можливе осушення колодязів у прилеглих населених пунктах;
- зміна умов живлення та розвантаження підземних вод;
- потенційне підвищення концентрацій забруднювальних речовин у зоні аерації внаслідок висихання та вітрового перенесення донних відкладів;
- зміна хімічного складу ґрунтових і підземних вод;
- трансформація руслових параметрів річки Оскіл;
- формування значних площ оголених донних відкладів;
- зміна локальних мікрокліматичних умов;
- деградація водних та прибережних екосистем, скорочення біорізноманіття, зміна умов існування риб, водолюбних рослин і тварин.

Для оцінювання просторово-часових змін водних та рослинних компонентів території було використано дані дистанційного зондування Землі та спектральні індекси NDWI і NDVI (рис.1) (McFeeters, 1996; Rouse et al., 1974).

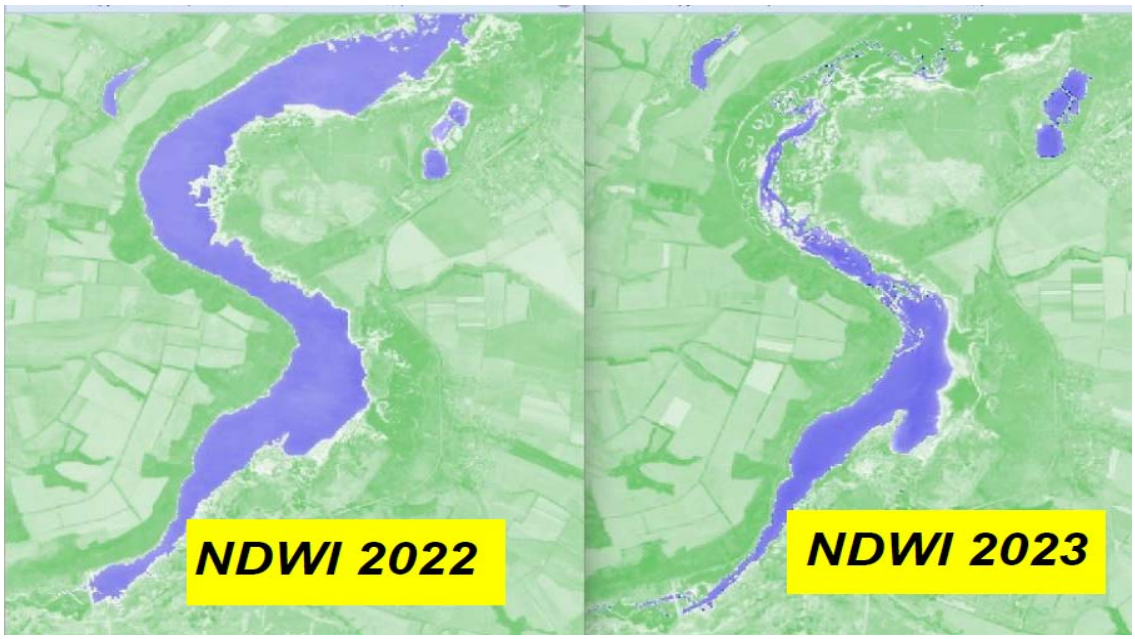


Рис. 1. Просторово-часова динаміка водної поверхні та прибережної зони за результатами аналізу індексу NDWI, 2022–2023 рр.

Аналіз космічних знімків показав, що процес інтенсивного обміління Оскільського водосховища розпочався вже на початку квітня 2022 року. Подальші зміни водного дзеркала та рослинного покриву простежувалися протягом наступних сезонів.

Порівняльний аналіз супутникових даних за 2021–2023 рр. дозволив встановити суттєві зміни стану рослинного покриву на територіях, прилеглих до водосховища. Використання спектральних індексів дає можливість кількісно оцінити трансформацію рослинності та водних поверхонь і простежити динаміку відновлення або деградації природних комплексів.

Водночас важливо розмежовувати застосування індексів: NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) характеризує стан і продуктивність рослинного покриву, тоді як для безпосереднього оцінювання змін площі та стану водної поверхні доцільніше використовувати NDWI (Normalized Difference Water Index) або його модифікації (McFeeters, 1996; Rouse et al., 1974). Комплексне використання NDVI та NDWI дозволяє простежити взаємозв'язок між змінами водного режиму та станом прибережної рослинності (McFeeters, 1996; Rouse et al., 1974). Зменшення площі водної поверхні може супроводжуватися розширенням зон із наземною або вологолюбною рослинністю, однак за умов забруднення, механічного пошкодження територій чи деградації ґрунтового покриву така закономірність може порушуватися. Саме тому поєднання спектральних індексів є більш інформативним для комплексної оцінки трансформації природних комплексів, ніж використання одного показника.

Встановлено, воєнні дії на території Харківської області спричинили багатокомпонентну трансформацію природно-ресурсного потенціалу регіону. Показано, що найбільш суттєві прояви техногенного навантаження пов'язані з пошкодженням промислових підприємств, об'єктів нафтогазового комплексу, інфраструктури та гідротехнічних споруд. При цьому екологічні наслідки не обмежуються локальними осередками забруднення, а можуть поширюватися на значні території через зміни гідрологічного режиму, міграцію забруднювальних речовин, деградацію ґрунтів та трансформацію екосистем.

Висновки. Проведений аналіз свідчить, що воєнні дії є потужним фактором формування техногенного навантаження на територію Харківської області. Особливу небезпеку становить поєднання традиційного промислового навантаження з новими воєнними чинниками. Руйнування об'єктів нафтогазового комплексу формує локальні та потенційно регіональні осередки забруднення. Тоді як пошкодження гідротехнічної інфраструктури здатне спричиняти масштабні зміни гідрологічних і гідрогеологічних умов, наслідки яких будуть відчуватися ще десятки років.

Перспективним напрямом подальших досліджень є створення інтегрованої системи оцінювання воєнного техногенного навантаження, яка поєднуватиме результати дистанційного зондування Землі, геохімічного та гідрогеологічного моніторингу, оцінювання стану ґрунтів, водних ресурсів і біоти. Такий підхід дозволить визначати території з найбільшим рівнем екологічного ризику та обґрунтовувати пріоритетність природоохоронних і відновлювальних заходів.

Список використаних джерел:

1. Gao, B.C. (1996). NDWI – A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment, 58*(3), 257–266. https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00067-3

2. McFeeters, S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing, 17*(7), 1425–1432. https://doi.org/10.1080/01431169608948714

3. Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1974). *Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS*. Proceedings of the Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, NASA SP-351, 309–317.

4. Українська природоохоронна група. (2022). Чи відновлювати Оскільське водосховище після завершення війни? Українська природоохоронна група. Режим доступу: https://uncg.org.ua/chy-vidnovliuvaty-oskilske-vodoskhovyshche-pislia-zavershennia-vijny/?utm_source=chatgpt.com

References:

Gao, B.C. (1996). NDWI – A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment, 58*(3), 257–266. https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00067-3

McFeeters, S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing, 17*(7), 1425–1432. https://doi.org/10.1080/01431169608948714

Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1974). *Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS*. Proceedings of the Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, NASA SP-351, 309–317.

Ukrainska pryrodookhoronna hrupa. (2022). Chy vidnovliuvaty Oskilske vodoskhovyshche pislia zavershennia viiny? Ukrainska pryrodookhoronna hrupa. Rezhym dostupu: https://uncg.org.ua/chy-vidnovliuvaty-oskilske-vodoskhovyshche-pislia-zavershennia-vijny/?utm_source=chatgpt.com [in Ukrainian]

УДК 550.3+504.43; 621

СЕЙСМІЧНІ РИЗИКИ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ГІДРОТЕРМАЛЬНИХ РЕСУРСІВ НА ЗАКАРПАТТІ

Назаревич Л.Є.*[1], *к. геол. н., ORCID ID: 0000-0001-8038-9535, nazarevych.L@gmail.com;
Назаревич А.В.*[2], *к.ф.-м.н., с.н.с., ORCID ID: 0000-0002-1989-0790, nazarevych.a@gmail.com;
Скакальська Л.В.*[2], *к.ф.-м.н., ORCID ID: 0000-0002-0383-7290 skakalska.sbigph@gmail.com;
***Лівенцева Г.А.*[3],*к. геол. н., ORCID ID: 0000-0003-4796-4715, hannaliventseva@gmail.com*;**
Назаревич Р.А.*[4], *аспірант, ORCID ID: 0009-0003-0104-3280, roman.nazarevych@gmail.com,
1– Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, відділ сейсмічності Карпатського регіону, м. Львів, Україна,
2 – Карпатське відділення Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, м. Львів, Україна,
3 – Geoscience Barcelona (GEO3BCN-CSIC) Institute, Barcelona, Spain,
4 – Львівський національний університет імені Івана Франка, Львів, Україна

В роботі наведено аналіз історичної та сучасної сейсмічності і особливостей сейсмотектонічних процесів у Закарпатті. Закарпаття належить до найперспективних геотермальних зон України, воно має сприятливі для формування неглибоких геотермальних родовищ геотермальні та гідрогеологічні умови завдяки високому (90-130 мВт/м^2) глибинному тепловому потоку. Температури на глибині 1000 м у Чоп-Мукачівській западині становлять 55–70° С, у Солотвинській 45–60° С. Сучасна сейсмічність Закарпаття характеризується здебільшого неглибокими (глибини 2-16 км) землетрусами з магнітудами 0,6-4,7. Їх вогнища знаходяться поблизу численних родовищ геотермальних вод, що вказує на необхідність урахування потенційних сейсмічних ризиків при розробці та експлуатації геотермальних ресурсів. У цьому контексті особливого значення набуває розробка комплексної моделі оцінювання сейсмічного ризику для зон геотермальних об'єктів регіону. Зміни порового тиску та/або ефективного коефіцієнта тертя під час видобування геотермальних ресурсів часто спричиняють зростання локальної мікросейсмічності і можуть спровокувати активізацію критично напружених сегментів розломів, що потенційно може призвести до значних землетрусів. Тому всебічне вивчення і моніторинг сейсмічності і напружених станів земної кори в межах зон геотермальних родовищ є вкрай важливим для зменшення сейсмічних ризиків та забезпечення безпечного та сталого розвитку регіону.

Ключові слова: сейсмічний ризик; землетрус; тектоніка; гідротермальні ресурси; сталий розвиток; Закарпаття.

SEISMIC RISKS IN THE EXPLOITATION OF GEOTHERMAL RESOURCES IN TRANSCARPATHIANS

Nazarevych L.*[1], *Cand. Sci. (Geol.), ORCID ID: 0000-0001-8038-9535, nazarevych.L@gmail.com;
Nazarevych A.*[2], *Cand. Sci. (Phys.-Math.,), Ass. Prof., ORCID ID: 0000-0002-1989-0790,nazarevych.a@gmail.com;
Skakalska L*.[2], *Cand. Sci. (Phys.-Math., , ORCID ID: 0000-0002-0383-7290, skakalska.sbigph@gmail.com;
Liventseva H.*[3], *Cand. Sci. (Geol.), Contract Researcher*, ORCID ID: 0000-0003-4796-4715, *hliventseva@geo3bcn.csic.es;
Nazarevych R*.[4], *postgraduate, ORCID ID: 0009-0003-0104-3280, roman.nazarevych@gmail.com,
1 – S.I.Subbotin Institute of Geophysics of NASU, department of seismicity of the Carpathian region, Lviv, Ukraine,
2 – Carpathian Branch of S.I.Subbotin Institute of Geophysics of NASU, Lviv, Ukraine,
3 – Geosciences Barcelona (GEO3BCN-CSIC) Institute, Barcelona, Spain,
4 – Ivan Franko National University of Lviv, Lviv, Ukraine

This study presents an analysis of the historical and modern seismicity and the characteristics of seismotectonic processes in Transcarpathians. Transcarpathians is one of the most promising geothermal regions of

Ukraine, it has geothermal and hydrogeological conditions favorable for the formation of shallow geothermal deposits due to the high (90-130 mW/m^2) deep heat flux. The temperature at a depth of 1000 m ranges from 55 to 70 °C in the Chop–Mukachevo depression and from 45 to 60 °C in the Solotvyno depression. The present-day seismicity of Transcarpathians is characterized predominantly by shallow (depths of 2–16 km) earthquakes with magnitudes ranging from 0.6 to 4.7. Seismic sources are located in the vicinity of numerous geothermal water deposits, highlighting the need to account the potential seismic hazards in developing and exploitation of geothermal resources. In this context, the development of a comprehensive model for seismic risk assessment in geothermal facilities zones of the region is particularly important. Changes in pore pressure and/or the effective coefficient of friction during geothermal operations often cause an increase of local microseismicity and can can provoke activation of critically stressed segments of faults, potentially leading to significant earthquakes. Therefore, comprehensive study and monitoring of seismicity and the stress states of the earth's crust within the zones of geothermal deposits is extremely important for reducing seismic risks and ensuring safe and sustainable development of the region.

Keywords: seismic risk; earthquake; tectonics; hydrothermal resources; sustainable development; Transcarpathians.

Вступ. Сейсмічність територій тісно пов’язана з тектонічною будовою та сучасною геодинамікою земної кори, а також і з антропогенним впливом (техногенні і техногенно спровоковані землетруси при видобуванні корисних копалин, заповненні та експлуатації водосховищ тощо). Закарпаття є регіоном з активною геодинамікою і сейсмічністю, тут щороку в середньому фіксується по 10-20 і більше землетрусів з магнітудою M від 0,6 до 2,9, а щодекілька років трапляються сильніші землетруси з магнітудами до 3,9-4,4 (Назаревич, Назаревич, 2012). В основному сейсмогенеруючі структури пов’язані з зоною впливу Закарпатського глибинного розлому і диз’юнктивних вузлів регіональних розломів різного порядку і різної орієнтації (Nazarevych et al., 2022). Відомо також, що Закарпаття має значні геотермальні ресурси, вони пов’язані з високим (90-130 мВт/м^2) глибинним тепловим потоком (Кутас, 2007), з особливостями геологічної будови, зокрема, з наявністю під Закарпатським прогином потужної і обширної глибинної (глибини 7-14 км) тріщинуватої флюїдонасиченої геотермальної зони з температурами порядку 400-450 ºС (Назаревич та ін., 2002, 2018б), з наявністю провідних глибинних сейсмоактивних розломів, що живлять приповерхневі гідротермальні зони в районі покрівлі фундаменту і в товщі осадових порід (глибини до 1-3 км). Геотермальні ресурси Закарпаття вже досить давно і доволі активно використовуються для рекреаційних цілей (відомі термальні басейни під Ужгородом, у Косино, в Берегово, у Виноградові, у Хусті та ін.), значно менше – для енергетичних цілей (опалення теплиць і будинків, електрогенерація тощо).

Метою цієї роботи є дослідження сейсмічного ризику для відомих геотермальних полів Закарпатського прогину. Адже активне використання геотермальних ресурсів може спричинити індуковану сейсмічну активність, що створює потенційну загрозу для сталого розвитку регіону і безпечної експлуатації геотермальної енергії. Такі процеси відомі як у зонах видобування геотермальних ресурсів, зокрема, закордоном (Huang et al., 2025; Shan et al., 2025), так і в зонах видобування вуглеводнів (Назаревич та ін., 2018а), у зонах впливу водосховищ тощо.

Нижче коротко подано результати наших досліджень щодо уточнення локалізації вогнищ землетрусів впродовж інструментального періоду сейсмічних спостережень у регіоні (з 1961 р), їх енергетичних і спектральних характеристик і особливостей геомеханіки вогнищевих зон (Назаревич, Назаревич, 2002; 2012; Nazarevych et al., 2022; Kováčiková et al., 2016), а також дані про тектонічну, геологічну будову, структуру різних геофізичних полів для даної території (Глушко, Круглов, 1986; Третяк та ін., 2015). Аналізуються фактори, що впливають на індуковану сейсмічну активність у зонах геотермальних свердловин, вони оцінюються за допомогою моделі оцінки індукованої сейсмічної активності (Breede et al., 2015; Shan et al., 2025). Такі дослідження проводяться в багатьох країнах, зокрема у районі Великої затоки (Китай), у Рейнському грабені (Німеччина), у Південній Кореї, Нідерландах та інших. Ці райони характеризуються пов’язаною з геотермальними зонами підвищеною сейсмічною активністю. В Україні до цього часу спеціально такі дослідження не проводяться.

Геотермальний потенціал Закарпаття є найвищим з усіх геотермальних провінцій України (Liventseva, H., Barylo, A., 2024) . Висока геотермічна активність регіону пов'язана з астенолітною складовою регіонального геодинамічного процесу, з вулканічною активністю на цій території в кайнозойську епоху, з підняттям нагрітих і частково розплавлених порід з мантійних потоків у неогеновий час і з прогрівом ними земної кори Закарпаття. На просторовий розподіл глибинних температур впливає динаміка підземних вод, геобаричні умови і газонасиченість порід та підземних вод (Назаревич та ін., 2002; Кутас, 2007). Розподіл температур у Закарпатському прогині є дещо різним, так на глибині 1000 м у Чоп-Мукачівській западині вон становить 55–70 °С, у Солотвинській – 45–60 °С. З глибиною температура підвищується, на глибині 3000 м у Солотвинській западині вона стає 100–120 °С, у Чоп-Мукачівській – 130–155 °С (рис. 1). Відповідно коливаються і значення геотермічних градієнтів – 0,04–0,055 °С/м у Чоп-Мукачівській западині, у Солотвинській – 0,035–0,04 °С/м. Густина теплового потоку на цій території також є різною, від 70 до 100 мВт/м^2 у у Солотвинській западині, до 85–120 мВт/м^2 у Чоп-Мукачівській.

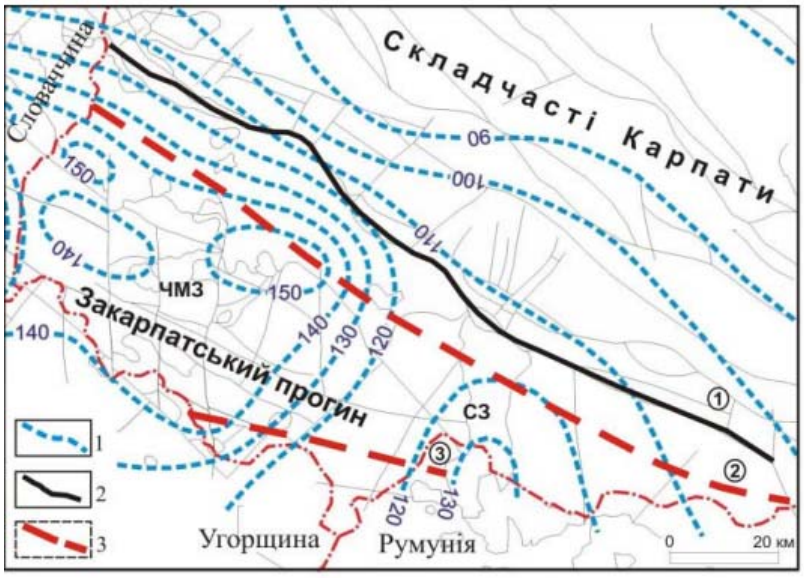


Рис. 1. Розподіл температур у Закарпатському прогині на глибині 3000 м: 1 – ізотерми, °С; 2 – Закарпатський (1) (розмежовує Складчасті Карпати і Закарпатський прогин) і Припанонський (3) глибинні розломи; 3 – Центрально-Закарпатський (2) глибинний розлом ЧМЗ і СЗ – відповідно Чоп-Мукачівська і Солотвинська западини (Кутас Р.І., 2007)

В Закарпатській області є понад 80 термальних свердловин, мінеральні води яких активно використовуються в курортно-рекреаційній сфері. Основні родовища зосереджені в Берегівському районі (Берегівське, Косонське, Бакта, Теплиця, Велика Паладь), Ужгородському (Розівське, Нижньо-Солотвинське, Деренівське), Мукачівському (Мукачівське, Латорицьке, Залузьке, Лісарня), Хустському (Іршавське, Велятинське, Нарцис), Тереблянське родовище у Тячівському районі. Окрім лікувально-курортної сфери ці води використовуються і для енергетичних цілей. В Ужгороді, Косино, Мукачевому, Велятині, Берегово термальні води використовуються у дрібномасштабній теплофікації. Геотермальні води використовують двома способами: фонтанним (теплоносій викидається в навколишнє середовище) та циркуляційним (теплоносій закачується назад в продуктивну товщу). Перший спосіб дешевший, але екологічно небезпечний, другий дорожчий, але забезпечує збереження навколишнього середовища.

Сейсмічність Закарпаття зумовлена низкою факторів, основним з яких виступає регіональний геодинамічний процес, що об'єднує глобальну плитово-тектонічну (альпійську/карпатську), регіональні терейнову (рух терейнів Алькапа і Тисія-Дакія) та астенолітну (вплив астенолітних потоків від астеноліта під Паннонією). Серед інших – це

особливості тектонічної будови земної кори (дрібноблокова структура з численними різноранговими розломами і розривними порушеннями) (Глушко, Круглов, 1986), геологічної історії, активні і диференційовані сучасні вертикальні та горизонтальні рухи (Третяк та ін., 2015). За даними діючої за новими ДБН 2025 карт загального сейсмічного районування ЗСР-2004-А і ЗСР-2004-С ця територія віднесена до 7-бальної зони (для цивільного будівництва) і до 8-бальної – для відповідальних та еконебезпечних об'єктів. Відомо, що тут у 1908 р. у Сваляві, у 1914 і в 1936 роках в районі Ужгорода, у 1931 і у 1965, 2006, роках в районі Берегово (в зоні палеокальдери (Назаревич, 2006), де якраз розташовані місцесі термальні свердловини), у 1926 р. в районі Тересви, у 1937 р. в районі Драгово, у 1979 р. в районі Углі відбулися землетруси з магнітудами М=3,9÷4,7 і з силою струшувань в епіцентральних зонах до 6-7 балів. Також відомо про ряд менш сильних землетрусів з бальністю *I* в епіцентрі до 5-6 балів якраз у районах, де зараз ведеться активна експлуатація термальних джерел. На територію Закарпаття макросейсмічно (з інтенсивністю *I* до 6-7 балів) також впливають сильні землетруси з району Гуменного (Словаччина), останній такий відбувся 9 жовтня 2023 р. з М=4,5, з районів Бая-Маре, Сигет і Мармарош (Румунія) та з прикордоння Угорщини. А більш часто (до 10-20 на рік і більше) в Закарпатті відбуваються слабші землетруси (з магнітудами М 0,6-3) і з невеликими глибинами вогнищ (порядку 2-14 км). Але за нашими дослідженнями (Назаревич, Назаревич, 2012, Nazarevych et al., 2022), є також деяка кількість землетрусів з більшими глибинами – до 27-31 км, які трасують шовні зони терейнів Алькапа і Тисія-Дакія, а також зону занурення під Карпати Закарпатського глибинного розлому. В роботах (Назаревич, Назаревич, 2004, Назаревич та ін., 2018б) проведено детальний просторо-глибинний і енергетичний аналіз землетрусів по профілю РП-17 (вздовж простягання Закарпатського прогину, рис. 2) і виявлено чітку локалізацію вогнищ землетрусів у зоні профілю на субвертикальних і нахилених глибинних розломах, і на субгоризонтальних порушеннях – зонах ковзання насувів і складок в реологічно ослаблених шарах земної кори – зонах знижених швидкостей у гранітах (рис. 2). Причому зафіксована за сейсмічними і геоелектричними даними гідротермальна зона в гранітах (на глибинах 7-14 км) є помітно асейсмічною (Назаревич та ін., 2018б; Kováčiková et al., 2016), землетруси переважно відбуваються або вище, або нижче неї, або з боків. Аналіз показав, що вогнища землетрусів локалізуються на активних розломах, які є добрими каналами міграції флюїдів, поблизу них розташовані джерела гідротермальних вод. Такі особливості сейсмотектоніки свідчать про складний напружено-деформований стан земної кори регіону, сейсмічність якої контролюється основними активними розломами. Все це вказує на необхідність вивчення і моніторингу змін тектонічних напружень у земній корі Закарпаття при інтенсивній експлуатації гідротермальних ресурсів регіону.

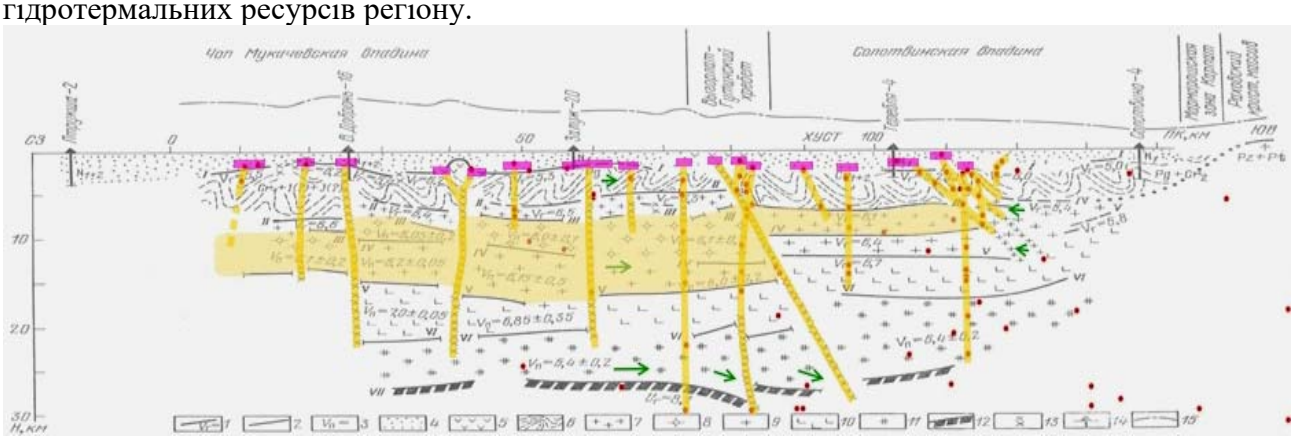


Рис. 2. Флюїдно-гідротермальні зони в земній корі Закарпаття і вогнища місцевих землетрусів (Назаревич та ін., 2018б) на тектонічних структурах регіонального профілю РП-17 Чоп – В.Бичків

Новизна досліджень. Для оцінки сейсмічного ризику цієї території є напрацювання щодо причинно-наслідкових механізмів, що пов'язують видобування геотермальних ресурсів з індукованою сейсмічністю (Huang et al., 2015; Shan et al., 2025 та ін.). Такі кількісні параметри концептуальної моделі сейсмічного ризику, як напруження in situ, наявність розломів і відстань від них до об'єкту, глибина та об'єм відкачування/ін'єкції, кут між тріщиною та розломом, ступінь агрегації тріщин, сейсмічна ситуація в районі дають можливість спрогнозувати і керувати індукованою сейсмічністю. Результати досліджень показують, що індукована сейсмічність проявляється нижче глибини буріння, а зі збільшенням глибини магнітуда землетрусів демонструє поступову тенденцію до зростання, збільшення об'єму закачування води за невеликої відстані від розломів також веде до збільшення магнітуди землетрусів.

Висновки. Закарпаття, як зона геотермальних ресурсів, одночасно є сейсмоактивним регіоном, де можливі землетруси з інтенсивністю до 7 балів за шкалою EMS-98, вогнища землетрусів мають невеликі глибини, в основному 2-14 км, хоча в гірській частині глибини частини вогнищ землетрусів є більшими, землетруси здебільшого мають магнітуди від 0,6 до 3,2. Сейсмотектонічний процес тут контролюють основні розломні структури: Закарпатський і Припаннонський глибинний розломи та їх перетини з розломами діагонального і субмередіонального спрямування, а також ряд нижчерангових розломів фундаменту. У т.ч. в осьовій зоні Закарпатського прогину. Це все зумовлює сейсмічні ризики для інтенсивного використання гідротермальних ресурсів. Тому контроль і оцінка індукованої сейсмічної активності на основі концептуальної моделі таких взаємовпливів між видобуванням гідротермальних ресурсів і сейсмічністю є важливими для діючих і майбутніх проектів використання гідротермальних ресурсів для гарантування безпечного розвитку регіону.

Список використаних джерел:

Глушко, В. В., & Круглов, С. С. (Ред.). (1986). *Тектоническая карта Украинских Карпат масштаба 1 : 200 000* [Карта]. Мингео УССР.

Кутас Р.И. (2016). Геотермические условия и мезо-кайнозойская эволюция Карпато-Паннонского региона. *Геофиз. журн.*, 38 (5), 75-107. https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v38i5. 2016.107823.

Назаревич А.В., Поп С.С., Назаревич Л.Є. (2018б). Про потенціал гідротермальних ресурсів Закарпаття. В *Матеріали П'ятої Міжнародної науково-практичної конференції "Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування"* (Т. 2, с. 217–221). ДКЗ. https://conf.dkz.gov.ua/files/2018_materials_vol_2.pdf.

Назаревич Л.Е., Назаревич А.В. (2004). Методики уточнення параметрів гіпоцентрів Карпатських землетрусів. *Геодинаміка*, 1 (4), 53-62.

Назаревич Л.Є. (2006). *Характеристики сейсмічності і сейсмотектонічного процесу в зонах Карпатського регіону*. [Неопублікована докторська дисертація]. Інститут геофізики НАН України, Київ, Україна.

Назаревич Л.Є., Назаревич А.В. (2012). Сейсмічність і деякі особливості сейсмотектоніки Українських Карпат. *Геодинаміка,* 1 (12), 145-151. https://doi.org/10.23939/jgd2012.01.145.

Назаревич Л.Є., Назаревич А.В. (2018а). Сейсмогеодинамічна активізація нафтогазоносних районів Передкарпатського прогину (Долина, Надвірна, Борислав). *Мінеральні ресурси України*, 2, 36–42. https://doi.org/10.31996/mru.2018.2.36-42.

Назаревич Л.Є., Назаревич А.В., Ковалишин З.І. (2002). Природа підзони знижених швидкостей у „гранітах" кори Закарпаття та її перспективні ресурси. *Вісник ЛНУ ім. Івана Франка. Серія геологічна,* 15, 119-125.

Третяк К.Р., Максимчук В.Ю., & Кутас Р.І. (ред.). (2015). Сучасна геодинаміка та геофізичні поля Карпат і суміжних територій. *Львів: Видавництво Львівської політехніки*. 420 с.

Breede K., Dzebisashvili K., Falcone G. (2015). Overcoming challenges in the classification of deep geothermal potential, *Geoth. Energ. Sci*., 3, 19-39. https://doi.org/10.5194/gtes-3-19-2015.

Huang, J., Song, Z., Zhao, H., Liang, Q., & Huang, C. (2025). True Triaxial Investigation of the Effects of Principal Stresses and Injection Pressure on Induced Seismicity Behavior in Geothermal Reservoirs. *Applied Sciences*, 15*(*19), 10545. https://doi.org/10.3390/app151910545

Kováčiková S., Logvinov I., Nazarevych A., Nazarevych L., Pek J., Tarasov V., Kalenda P. (2016). Seismic activity and deep conductivity structure of the Eastern Carpathians. *Stud. Geophys. Geod*., 60, 280-296, https://doi.org/10.1007/s11200-014-0942-y.

Liventseva, H., & Barylo, A. (2024). Classification of geothermal resources based on the geothermal play types and its application to the conditions of Ukraine. In Ninth scientific-practical conference "Subsoil use in Ukraine. Prospects for investment" (pp. 606–611). DKZ. https://conf.dkz.gov.ua/files/2024_materials_net.pdf.

Nazarevych A.V., Nazarevych L.Ye., Bayrak G.R., Pyrizhok N.B. (2022). Seismotectonics of the Oash and Transcarpathian deep faults junction zone (Ukrainian Transcarpathians). *Geodynamics*, 2(33), 99-114. https://doi.org/10.23939/jgd2022.02.100.

Shan, K.; Zheng, Y.; Cheng, W.; Shan, Z.; Zhang, Y. (2025). Evaluation of Seismicity Induced by Geothermal Development Based on Artificial Neural Network. *Energies*, 18, 4004. https://doi.org/10.3390/en18154004.

References

Breede K., Dzebisashvili K., Falcone G. (2015). Overcoming challenges in the classification of deep geothermal potential, *Geoth. Energ. Sci*., 3, 19-39. https://doi.org/10.5194/gtes-3-19-2015.

Hlushko, V.V., & Kruglov, S.S. (Eds.). (1986). *Tectonic map of the Ukrainian Carpathians, scale 1:200,000*. [Map]. Mingeo USSR (in Russian).

Huang, J., Song, Z., Zhao, H., Liang, Q., & Huang, C. (2025). True Triaxial Investigation of the Effects of Principal Stresses and Injection Pressure on Induced Seismicity Behavior in Geothermal Reservoirs. *Applied Sciences*, 15(19), 10545. https://doi.org/10.3390/app151910545.

Kováčiková S., Logvinov I., Nazarevych A., Nazarevych L., Pek J., Tarasov V., Kalenda P. (2016). Seismic activity and deep conductivity structure of the Eastern Carpathians. *Stud. Geophys. Geod.,* 60, 280-296. https://doi.org/10.1007/s11200-014-0942-y.

Kutas R.I. (2016). Geothermal conditions and the Mesozoic-Cenozoic evolution of the Carpathian-Pannonian region. *Geophysical Journal*, 38(5), 75-107. https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v38i5.2016.107823. [in Russian].

Liventseva, H., & Barylo, A. (2024). Classification of geothermal resources based on the geothermal play types and its application to the conditions of Ukraine. *In Ninth scientific-practical conference "Subsoil use in Ukraine. Prospects for investment"* (pp. 606–611). DKZ. https://conf.dkz.gov.ua/files/2024_materials_net.pdf.

Nazarevych A.V., Nazarevych L.Ye., Bayrak G.R., Pyrizhok N.B. (2022). Seismotectonics of the Oash and Transcarpathian deep faults junction zone (Ukrainian Transcarpathians). *Geodynamics*, 2(33), 99-114. https://doi.org/10.23939/jgd2022.02.100.

Nazarevych A.V., Pop S.S., Nazarevych L.Ye. (2018b). On the potential of hydrothermal resources of Transcarpathians. *Proceedings of the Fifth International Scientific and Practical Conference "Subsoil Use in Ukraine. Investment Prospects"*. (Vol. 2, pp. 217–221). DKZ https://conf.dkz.gov.ua/files/2018_materials_vol_2.pdf [in Ukrainian].

Nazarevych L., Nazarevych A. (2012). Seismicity and some features of seismotectonics of Ukrainian Carpathians. *Geodynamics*, 12 (1), 145-151. https://doi.org/10.23939/jgd2012.01.145 [in Ukrainian].

Nazarevych L.Ye. (2006). *Characteristics of seismicity and seismotectonic processes in the zones of the Carpathian region.* [Unpublished doctoral dissertation]. Institute of Geophysics of the NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine. [in Ukrainian].

Nazarevych L.Ye., Nazarevych A.V. (2018a). Seismogeodynamic activation of oil and gas-bearing areas of the Carpathian foredeep (Dolyna, Nadvirna, Boryslav). *Mineral Resources of Ukraine.* 2. 36-42. https://doi.org/10.31996/mru.2018.2.36-42 [in Ukrainian].

Nazarevych, L.E., Nazarevych, A.V. (2004). Technique of refining the parameters of the hypocenters of the Carpathian earthquakes. *Geodynamics*, 1 (4), 53-62 [in Ukrainian].

Nazarevych, L.Ye., Nazarevych, A.V., Kovalishin, Z.I. (2002). Nature of the lowered velocities subzone in «granites» of the Transcarpathian crust and its potential recourses. *Bulletin of the Lviv University, Geology Series*, 15, 119-125 [in Ukrainian].

Shan, K., Zheng, Y., Cheng, W., Shan, Z., Zhang, Y. (2025). Evaluation of Seismicity Induced by Geothermal Development Based on Artificial Neural Network. *Energies*, 18, 4004. https://doi.org/10.3390/en18154004.

Tretyak, K.P., Maksymchuk,V.Yu, Kutas, R.I. (Eds)., (2015). *Modern geodynamics and geophysical fields of Carpathians and contiguous territories.* Polytechnic Publishing House, Lviv. [in Ukrainian].

.

УДК 553.543.226

РАДІАЦІЙНО-ГІГІЄНІЧНА ОЦІНКА. КАЛІЙ

Слободян Б.І., *ORCID ID 0009-0006-5720-1220, sbiv@ukr.net,*
Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М. П. Семененка НАН України, Київ, Україна

Описано законодавчі вимоги щодо радіаційно гігієнічної оцінки мінеральної сировини. Близько 95% природньої радіоактивності забезпечують три хімічні елементи (ізотопи з ланцюгом розпаду) – уран, торій і калій. Причому на калій припадає 40-50% радіогенного тепловиділення та гамма активності. Наведено розрахунок радіоактивності мінеральних продуктів калію-мікрокліну і мінерального добрива рослинного походження. По законодавчим вимогам ці продукти відносяться до другого класу за радіоактивністю. Показано необхідність вдосконалення норм радіаційної безпеки України (НРБУ-97) стосовно вимог до вмісту калію в мінеральних продуктах. Основні галузі використання калієвої мінеральної сировини – керамічна і скляна промисловість та сільське господарство. Наведено дані про світове виробництво калію (potash) в якості мінерального добрива. Головними країнами виробниками калію у 2025 році були: Канада, росія, Китай і білорусь. Ці країни забезпечили 76% світового виробництва калію (potash). Наявна мінерально-сировинна база калію в Україні дозволяє їй бути одним з провідних виробників калію у світі. Наведено загальну геохімічну характеристику калію

Ключові слова: калій, видобуток, радіоактивність

RADIATION-HYGIENIC ASSESSMENT. POTASSIUM

Slobodian B.I., *ORCID ID 0009-0006-5720-1220, sbiv@ukr.net;*
M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

The legislative requirements for the radiation-hygienic assessment of mineral raw materials are described. About 95% of natural radioactivity is provided by three chemical elements (isotopes with a decay chain) - uranium, thorium and potassium. Moreover, potassium accounts for 40-50% of radiogenic heat release and gamma activity. The calculation of the radioactivity of mineral products of potassium-microcline and mineral fertilizer of plant origin is presented. According to legislative requirements, these products belong to the second class in radioactivity. The need to improve the radiation safety standards of Ukraine (NRBU-97) regarding the requirements for the potassium content in mineral products is shown. The main areas of use of potassium mineral raw materials are the ceramic and glass industries and agriculture. Data on the world production of potassium as a mineral fertilizer are presented. The main countries producing potassium in 2025 were: Canada, Russia, China and Belarus. These countries provided 76% of the world production of potassium. Ukraine's existing potassium mineral resource base enables it to be one of the world's leading potassium producers. The general geochemical characteristics of potassium are given

Keywords: potassium, mining, radioactivity

Вступ. Лужні метали займають одну з провідних ролей в геологічних процесах Земної кори. Показники кларкових значень їх вмісту(в грам/тону) в різних типах гірських порід Українського щита (за матеріалами [1]) та в Земній корі наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Показники кларкових вмістів лужних металів

Елемент / Гірська порода	K	Na	Li	Rb	Cs
Кислі породи УЩ	**32300**	27500	80	210	5
Кристалічні сланці та парагнейси УЩ	**22800**	15100	-	130	3
Кларк в Земній Корі	**21300**	23800	25	110	4

З ними пов’язані такі глобальні метасоматичні процеси, як лужний метасоматоз (натрієвий, калієвий, літієвий). Особливе місце серед лужних металів займає калій. З ним пов’язано такий метасоматичний процес, як калієвий метасоматоз і мінеральні прояви процесу – калішпатизація (мікроклінізація) і мусковітизація.

Фізико-хімічні властивості іону калію обумовлюють широке використання мінералів калію (мікроклін та ілліт) в керамічній і скляній промисловості, а хімічні сполуки калію в

сільському господарстві в якості добрива. Головними країнами виробниками калію у 2025 році були: Канада, росія, Китай і білорусь. Ці країни забезпечили 76 % світового виробництва калію (potash).

У всіх природніх сполуках калій міститься у вигляді суміші ізотопів- двох стабільних K^{39} і K^{41} і одного радіоактивного K^{40}. На калій припадає 40-50% радіогенного тепловиділення та гамма активності Земної кори. Класифікація мінеральної сировини за рівнем радіоактивності в значній мірі залежить від вмісту в ній калію.

Мета досліджень. Визначення ролі калію в геологічних процесах. Узагальнення і опис основних геохімічних характеристик і властивостей калію.

Об'єкти і методика досліджень. Об'єкт досліджень – хімічні елементи, лужні метали: калій.

Методи та матеріали. Методологічною основою дослідження став наступний комплекс методів:

- теоретичні методи - формалізація, гіпотетичний та дедуктивний;
- емпіричні методи - спостереження та вивчення конкретних явищ, порівняння та опис;
- загально логічні методи, синтез, аналогія, моделювання.

Результати досліджень.

Мінерально- сировинна база калію світу. Основною корисною копалиною, джерелом калію, є калійні солі (potash). Світове виробництво калію в розрізі країн за 2010-2025 роки, за даними Геологічної Служби США [3] показано на діаграмі (рис. 1).



Рисунок 1. Видобуток калію в світі за 2010-2025 роки [3]

У 2025 році у світі було видобуто 49 млн т калію (у перерахунку на K_2O). Причому чотири країни – Канада, росія, Китай, і білорусь забезпечили 76% світового видобутку. В Україні, за даними USGS [3], у 1995-1998 роках видобуток калію складав 100 тис. т, до 2010 року впав до 12 тис. т, і в наступні роки у звітах USGS не відображено. Найбільший прогрес з видобутку калію у Лаосі. Видобуток у 2018 році – 0, у 2019 році – 200 тис. т., а у 2025 році вже 2400 тис. т. Орієнтовно 85% видобутого у 2025 році калію використано для виробництва добрив, а решта для хімічного та промислового застосування.

За даними [2] На території України калійні солі виявлені в Дніпровсько-Донецькій западині і Передкарпатському крайовому прогині.

Державним балансом запасів корисних копалин України станом на 2004 рік лише в Передкарпатському басейні враховані 13 родовищ калійних солей із загальними запасами

солі 3857451 тис. т (411035 тис. т K_2O) [2]. За запасами калійних солей Україна посідає п’яте місце в світі (лише Передкарпатський прогин та обліковані ДКЗ запаси) (рис. 2).



Рисунок 2. Запаси калію в світі на 2025 рік [3] [2]

Геохімія калію. Калій було відкрито у 1807 р. англійським хіміком Гемфрі Деві. Це м'який сріблясто-білий метал. Хімічно дуже активний, сильний відновник. Основні характеристики калію як атома і як елемента узагальнені і наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Основні характеристики калію [4]

Характеристики елемента	**Характеристики атома**	**Фізичні характеристики елемента**	
Порядковий номер:19	Конфігурація електронів-[He]$4s^1$	Щільність (г/$см^3$):	0,4
Символ: К	Атомний радіус-2,36	Твердість:	0,856
Назва: укр. Калій англ. Potassium	Іонний радіус (за Г. Бокієм, Н. Беловим) – 1,33 Радіус іона – 0,138 нм	Число окислення:	1
Кларки: Земна Кора – 0,91 % Океан – 0,038% **Кларки в породах УЩ**: ультраосновні – 0,03 %, основні – 0,773 %, середні- 1,52 %, кислі 3,23 %	Атомна маса – 39,0983	Електронегатив-ність (Полінг):	0,82
		Точка плавлення:	63,38°С (336,53 К)
		Точка кипіння:	759°С (1032 К)

Мінеральні сполуки калію широко використовуються в керамічній та скляній промисловості, а хімічні сполуки в сільському господарстві як добрива.

Медична сфера застосування препаратів калію і продуктів з високим вмістом калію-кардіологія, для зміцнення судин і серцевого м’язу.

Радіоактивність. У геофізиці та радіоекології вважається, що три радіонукліди створюють понад 95% усієї природної гамма-активності порід і ґрунтів.:

1. **Калій^{40} частка ≈ 40–50 %;**
2. Уран^{238} та Уран^{235} (разом із ланцюгом розпаду) частка ≈10–20 %;
3. Торій^{232} (разом із ланцюгом розпаду) частка ≈ 35–45 %.

Радіоактивність калію. Одною з основних властивостей калію є його природна радіоактивність. В природі зустрічаються три основні ізотопи калію:

• **Калій-39 (K^{39})**: Це найпоширеніший і **стабільний** ізотоп калію, його вміст становить приблизно 93,258% природного калію.

• **Калій-40 (K^{40})**: Це **радіоактивний** ізотоп калію, вміст його становить **близько 0,0117 % природного калію**. Період напіврозпаду (приблизно $1{,}28 \times 10^9$ років) Він є основним джерелом природної радіоактивності в організмі людини та в навколишньому середовищі. K^{40} розпадається з випромінюванням бета-частинок та гамма-випромінюванням.

• **Калій-41 (K^{41})**: Це також **стабільний** ізотоп калію, вміст становить приблизно 6,730 % природного калію.

Законодавчі вимоги щодо радіаційної безпеки. На законодавчому рівні радіаційна безпека в Україні регулюється Нормами радіаційної безпеки України (НРБУ-97). Основні положення НРБУ-97 стосовно мінеральної сировини [5]:

Аеф – сумарна ефективна радіоактивність природних радіонуклідів визначається за формулою: $Аеф = AU(^{226}Ra)+1.31ATh(^{228}Ra)+\mathbf{0.085A^{40}K;}$

Згідно класифікації застосування будівельних матеріалів вони розділяються на класи:

1 клас ($A_{еф}$≤370Бк/кг) – всі види будівництва без обмежень.

2 клас ($A_{еф}$≤740Бк/кг) – для об'єктів промислового, господарського і дорожнього призначення, де перебування людей складає менше 1700 годин на рік.

3 клас ($A_{еф}$≤1350Бк/кг) – для окремих ізольованих об'єктів чи споруд об'єктів промислового і дорожнього призначення, які практично не пов'язані з перебуванням людей [5].

Питома активність ізотопу K^{40} у природному калію становить приблизно 30-31 Бк на грам природного калію, тобто **приблизно 30 000 - 31 000 Бк/кг. Ця величина є сталою для будь-якого зразка природного калію, оскільки відсоток K^{40} (0,0117 %) у ньому є практично незмінним.**

Мікроклін ($K[AlSi_3O_8]$). Це породоутворювальний мінерал, що належить до групи польових шпатів. Мікроклін містить **16,93 % K_2O**. З урахуванням, що в оксиді калію приблизно **83.01 %** калію. В чистому мікрокліні 16,93*0,831 = **14,07 % калію.**

В одному кілограмі мікрокліну 0,147 кг калію, який забезпечує активність: від 0,147*30000 Бк/кг = **4410 Бк/кг** до 0,147*31000 Бк/кг = **4557 Бк/кг**. Таким чином *Аеф* мікрокліну лише по ізотопу K^{40} буде: від 4410*0,085 = **374,85 Бк/кг** до 4557*0,085 = **387,35 Бк/кг.** Тобто, чистий мікроклін за природною радіоактивністю належить до **2 класу.**

Мінеральне добриво рослинного походження з золи соняшника. Це безхлорне мінеральне добриво рослинного походження виготовляють із **золи лушпиння соняшника**.



Рис. 3. Мінеральне добриво

Етапи виробництва:

• Спалювання: Лушпиння соняшника спалюється в спеціальних печах, в результаті чого утворюється зола. Ця зола є основним компонентом майбутнього добрива;

• Гранулювання: Отримана зола проходить процес гранулювання. Це авторська технологія. Завдяки гранульованій сферичній формі, добриво стає сипким, зручним для зберігання та рівномірного внесення у ґрунт.

Хімічний склад добрива наведено на рис. 3. Вміст K_2O 28-34 %. При розрахунку радіоактивності цього добрива, аналогічно мікрокліну: $A_{еф}$ добрива лише по K^{40} буде: від 6981*0,085 = **593 Бк/кг** до 8758*0,085 = **744 Бк/кг.** Тобто, це природнє мінеральне добриво рослинного походження, за природною радіоактивністю згідно класифікації НРБУ-97 належить до 2, або 3 класу і може відноситись **до слабоактивних радіоактивних відходів**.

Висновки.

1. Фізико-хімічні характеристики атома і молекули калію є визначальними для використання їх мінеральних і хімічних сполук в різних галузях промисловості.
2. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97) потребують коригування і перегляду стосовно ізотопу K^{40}.
3. Калій, займає провідну роль в метасоматичних процесах і рудоутворенні.
4. Світовий ринок видобутку калію активно розвивається і Україна може зайняти в ньому одне з чільних місць, замінивши росію і білорусь.

Список використаних джерел:

1. Войновський А. С., Жужома В. М., Калініна Г.В., Лобанова Л. А., Чурубров С. С. (2006). *Методичні рекомендації для складання геохімічних карт (геохімічної спеціалізації геологічних утворень докембрійського фундаменту та прогнозно-геохімічної) масштабів 1:200 000 та 1:50 000 стосовно умов Українського щита*. Київ: УкрДГРІ. 96 с.
2. Гурський Д. С., Есипчук К. Ю., Калінін В. І., Куліш Е. О., Чумак Д. М., Шумлянський В. О. (2006). *Неметалічні корисні копалини України*. Київ-Львів: «Центр Европи». 38-44.
3. National Minerals Information Center. USGS. *Mineral Commodity Summaries 2026 (*for 2010-2026) https://www.usgs.gov/centers/national-minerals-information-center/mineral-commodity-summaries
4. Mineralienatlas–Fossilienatlas. *Kalium*. https://www.mineralienatlas.de/lexikon/index.php/Kalium
5. Верховна Рада України. *Про введення в дію Державних гігієнічних нормативів "Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97)".* Постанова № 62 від 01.12.97. Розділ 8.6.1. https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0062282-97#Text

References:

Voinovskyi A. S., Zhuzhoma V. M., Kalinina H. V., Lobanova L. A., Churubrov S. S. (2006). *Methodological recommendations for compiling geochemical maps (geochemical specialization of geological formations of the Precambrian basement and predictive-geochemical) at scales of 1:200,000 and 1:50,000 regarding the conditions of the Ukrainian Shield*. Kyiv: UkrDGRI. 95 p. [in Ukrainian]

Hurskyi D. S., Esypchuk K. Iu., Kalinin V. I., Kulish E. O., Chumak D. M., Shumlianskyi V. O. (2006). *Non-metallic minerals of Ukraine.* Kyiv-Lviv: «Center of Europe». 38-44 p. [in Ukrainian]

National Minerals Information Center. USGS. *Mineral Commodity Summaries 2026* (for 2010-2026) https://www.usgs.gov/centers/national-minerals-information-center/mineral-commodity-summaries

Mineralienatlas–Fossilienatlas. *Kalium*. https://www.mineralienatlas.de/lexikon/index.php/Kalium

Verkhovna Rada of Ukraine. *On the Implementation of State Hygienic Standards "Radiation Safety Standards of Ukraine (NRBU-97)".* Resolution No 62, December 1, 1997. Section 8.6.1. https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0062282-97#Text [in Ukrainian]

УДК 553.543.226

РАДІАЦІЙНО-ГІГІЄНІЧНА ОЦІНКА. УРАН. ТОРІЙ

Слободян Б.І., *ORCID ID 0009-0006-5720-1220, sbiv@ukr.net,*
Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М. П. Семененка НАН України, Київ, Україна

Описано ланцюги радіоактивного розпаду ізотопів U^{238}, U^{235} та Th^{232}. Найбільший внесок в гамма активність урану вносить ізотоп Ra^{226} а торію ізотоп Ra^{228}. На уран припадає 10-20% а на торій 35-45% радіогенного тепловиділення та гамма активності земної кори. Наведено основні мінерально-генетичні типи і джерела урану і торію в гірських породах. В межах Інгульського мегаблоку родовища і рудопрояви урану часто супроводжуються рідкісноземельною мінералізацією. Україна є відомою урановою провінцією ендогенних родовищ. Однак поряд з цим широко розповсюджені гідрогенні (екзогенні епігенетичні) родовища і рудопрояви урану. Ці процеси також можуть бути джерелом уранового і рідкісноземельного забруднення інших родовищ осадового генезису. Наведено основні типи родовищ урану осадового генезису. Описано гідрогенний процес формування осадових родовищ урану і його вплив на формування родовищ і проявів вогнетривких глин і вторинних каолінів. Показано перспективи виявлення родовищ рідкісноземельних елементів в межах Інгульського мегаблоку та геохімічні методи їх пошуку.

Ключові слова: уран, торій, радіоактивні ізотопи.

RADIATION-HYGIENIC ASSESSMENT. URANIUM. THORIUM

Slobodian B.I., *ORCID ID 0009-0006-5720-1220, sbiv@ukr.net,*
M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

The chains of radioactive decay of the isotopes U^{238}, U^{235} and Th^{232} are described. The largest contribution to the gamma activity of uranium is made by the isotope Ra^{226} and the isotope Ra^{228} to thorium. Uranium accounts for 10-20% and thorium for 35-45% of the radiogenic heat release and gamma activity of the Earth's crust. The main mineral-genetic types and sources of uranium and thorium in rocks are given. Within the Ingul megablock, uranium deposits and ore occurrences are often accompanied by rare-earth mineralization. Ukraine is a well-known uranium-bearing province of endogenous deposits. However, along with this, hydrogenic (exogenous epigenetic) deposits and ore occurrences of uranium are widespread. These processes can also be a source of uranium and rare-earth contamination of other deposits of sedimentary genesis. The main types of uranium deposits of sedimentary genesis are given. The hydrogenic process of formation of sedimentary uranium deposits and its influence on the formation of deposits and manifestations of refractory clays and secondary kaolins is described. The prospects for the discovery of rare earth element deposits within the Ingul megablock and geochemical methods for their search are shown.

Keywords: uranium, thorium, radioactive isotopes.

Вступ. Радіоактивні метали, в першу чергу, уран і торій, займають одну з провідних ролей в геологічних процесах Земної кори. Показники кларкових значень їх вмісту (в грам/тону) в різних типах гірських порід Українського щита (за матеріалами [1]) та в Земній Корі наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Показники кларкових вмістів урану і торію

Елемент / Гірська порода	U	Th
Кислі породи УЩ	4,5	21
Кристалічні сланці та парагнейси УЩ	2,5	12,5
Кларк в Земній корі	3	12

Сумарно вони забезпечують 45-65 % радіогенного тепловиділення та гамма активності Земної кори. Радіаційне гамма випромінювання цих елементів забезпечують ізотопи ланцюгів радіоактивного розпаду, для урану передусім Ra^{226}, а для торію Ra^{228}. Це ключові елементи, вміст яких визначає клас корисних копалин для господарського використання. Їх розповсюдження в Земній корі і гірських породах пов’язано з рудогенними процесами ендогенного і екзогенного характеру. Ендогенні прояви уранової

і торієвої мінералізації проявляються в різного рангу (родовища, рудопрояви, точки мінералізації, геохімічні аномалії) проявах промислових мінерально генетичних типів і у вигляді ізоморфного входження урану і торію в акцесорні мінерали (циркон, циртоліт, монацит, ксенотим, апатит, флюорит, тощо).

Мета досліджень. Визначення ролі урану і торію в геологічних процесах. Узагальнення і опис впливу екзогенних проявів уран-торієвого рудоутворення на радіаційний фон осадових родовищ.

Об'єкти і методика досліджень. Об'єкт досліджень – Хімічні радіоактивні елементи: уран, торій.

Методи та матеріали.

Методологічною основою дослідження став наступний комплекс методів:

- теоретичні методи – формалізація, гіпотетичний та дедуктивний;
- емпіричні методи – спостереження та вивчення конкретних явищ, порівняння та опис;
- загально логічні методи, синтез, аналогія, моделювання.

Результати досліджень.

Мінерально-генетичні типи ендогенних проявів уранової і торієвої мінералізації. Україна є провідною ураноносною провінцією світу. Основні мінерально-генетичні типи (формації) урану: натрій-уранова (альбітітова), залізо-уранова, калій-уранова, жильна уранова. Рудопрояви торію і рідкісних земель пов'язані з: гранітами і сієнітами; лужними сієнітами; польовошпатовими метасоматитами; корами вивітрювання. Головними ізотопами урану і торію в цих рудопроявах є U^{238}, U^{235} та Th^{232}. Це нестабільні радіоактивні ізотопи, які утворюють ланцюги розпаду:

1. **U^{238}** → Th^{234} → Pa^{234} → U^{234} → Th^{230} → **Ra^{226}** → Rn^{222} → Po^{218} → Pb^{214} → Bi^{214} → Po^{214} → Pb^{210} → Bi^{210} → Po^{210} → **Pb^{206} (стабільний).**
2. **U^{235}** → Th^{231} → Pa^{231} → Ac^{227} → Th^{227} → Ra^{223} → Rn^{219} → Po^{215} → Pb^{211} → Bi^{211} → Tl^{207} → **Pb^{207} (стабільний).**
3. **Th^{232}** → **Ra^{228}** → Ac^{228} → Th^{228} → Ra^{224} → Rn^{220} → Po^{216} → Pb^{212} → Bi^{212} → Po^{212} / Tl^{208} → **Pb^{208} (стабільний).**

Найбільший внесок в гамма активність при розпаді урану вносить ізотоп **Ra^{226}**, а при розпаді торію – ізотоп **Ra^{228},** тому питома активність цих ізотопів вимірюється при гамма спектрометричному аналізі радіаційно гігієнічної оцінки.

Уран (U) і торій (Th) часто входять до мінералів як ізоморфні домішки, заміщуючи катіони близького іонного радіуса та валентності. Найхарактерніші мінерали: циркон, циртоліт, монацит, ксенотим, апатит, флюорит, титаніт, бадделеїт, шееліт та інші). В цих мінералах уран і торій ізоморфно заміщують Zr^{4+}, Y^{3+}, Ti^{4+}, Ca^{2+} з компенсацією заряду. Найтиповішими **мінералами-концентраторами U і Th** серед поширених акцесорних мінералів є: **циркон, монацит, ксенотим, апатит і титаніт**.

Наприклад, Лозоватське родовище керамічних пегматитів Інгульського мегаблоку Українського щита (Кіровоградська область). В таблиці 2 наведено результати гамма-спектрометричного аналізу проб керамічних пегматитів початкових і після магнітної і електромагнітної сепарації, легка фракція. Після сепарації середнє зниження питомої активності по урану склало 30 %, а по торію 56 %. В результаті, початкові проби відносились до 2 класу, а продукт збагачення вже до 1 класу.

За результатами мінералогічного аналізу мінералами концентраторами урану і торію є циркон, циртоліт, монацит. Середній вміст K_2O в початкових пробах пегматитів – 6,38 %. Розрахунок сумарної ефективної радіоактивності природніх радіонуклідів за формулою*:* ***Аеф*** = $AU(^{226}Ra)+1.31ATh(^{228}Ra)+0.085A^{40}K$ [4] окремо для урану, торію і калію показує внесок кожного радіонукліду в сумарну радіоактивність. Результати розрахунку наведені в таблиці 2. Частка K^{40} складає 54 %.

Руди ендогенних родовищ урану є матеріалом (джерелом) для формування родовищ і рудопроявів урану екзогенного типу (осадових). В своїй статті [5] французький науковець,

дослідник родовищ урану осадового генезису Michel CUNEY розглядає фактори і умови формування уранових родовищ у осадовому басейні. Він виділяє 9 типів родовищ урану пов'язаними з осадовими басейнами.

Таблиця 2

Питома активність природних радіонуклідів в початкових пробах пегматитів Лозоватського родовища та сепарованій легкій фракції (кварц-польовошпатовий продукт)

№ з/п	№ пр.	Порода	Питома активність радіонуклідів в Бк/кг								
			^{226}Ra(U)		Пони-ження, %	^{228}Ra(Th)		Пони-ження, %	^{40}K		Підви щення, %
			початкова	сепарована		початкова	сепарована		початкова	сепарована	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	К-1-1	Пегматит світло сірий	38	30	21	25	14	44	1792	1863	4
2	К-1-2	Пегматит озалізнений	152	83	45	100	36	64	1292	1319	2
5	К-2-1	Пегматит к/з	6	5	17	18	7	61	2174	2144	-1
		Середнє значення	**65**	**39**	**30**	**48**	**19**	**56**	**1753**	**1775**	**2**
Початкова *Аеф*(277Бк/кг)			**65**			**63**			**149**		
Внесок в *Аеф*, %			**23**			**23**			**54**		
Сепарована *Аеф*(215 Бк/кг)				**39**			**25**			**151**	
Внесок в *Аеф*, %				**18**			**12**			**70**	

Найбільш відомими, на сьогодні, і розповсюдженим в Україні є родовища урану в пісковиках на окисно-відновлювальних бар'єрах (в міжнародній термінології родовища типу Redox). Основні фаціальні комплекси екзогенних родовищ урану в Україні:

1. До комплексу річкових відкладів у південній і центральній частинах Дніпровського району приурочені головні родовища і рудопрояви урану (Садове, Братське, Сафонівське, Девладівське, Новогурівське родовища, Христофорівський, Хутірський та інші рудопрояви [2].

2. Лагунно-лиманний фаціальний комплекс складається з глинисто-вуглистих порід з підпорядкованими прошарками дрібнозернистих пісків і пісковиків. Характерні потужні витримані вугільні поклади. У відкладах цього комплексу розташовані два промислових родовища урану (Сурське і Червоноярське) і безліч рудопроявів [2].

Зазначені гідрогенні (екзогенні епігенетичні) родовища і рудопрояви урану розташовані і сформувались в стратиграфічному горизонті-бучацька світа середнього еоцену.

В цьому ж стратиграфічному горизонті в межах Інгульського мегаблоку формувались родовища і рудопрояви вогнетривких глин і вторинних каолінів теж гідрогенного типу. Основні відомі родовища: Кіровоградська група родовищ вторинних каолінів (Обознівське, Балашівське та інші), Шестаківське родовище вогнетривкої глини.

За даними звіту [6] вторинні каоліни на діаграмах гамма-каротажу пошукових свердловин фіксуються активністю природнього гамма-випромінювання 30-50 мкр/год [6].

Результати гамма-спектрометричного аналізу проби вторинного каоліну Балашівського родовища (марка КБ-3), виконані на замовлення автора, наведено в табл. 3.

Таблиця 3

Гамма-спектрометричний аналіз проби вторинних каолінів Балашівського родовища

N п/п	N проби	Ra^{226}(U) Бк/кг	Ra^{228}(Th) Бк/кг	K^{40} Бк/кг	$A_{еф}$ Бк/кг	Клас використання	Назва проби
1	1	100	213	57	383,9	2	Каолін марки КБ-3

Порівняння цих результатів з результатами Лозоватського родовища керамічних пегматитів (таблиця 2), показує:

1. Середні показники питомої радіоактивності по **^{226}Ra(U)** вторинних каолінів Балашівського родовища (100 Бк/кг) у **1,53 рази вище** ніж пегматитів Лозоватського родовища (65 Бк/кг).

2. Середні показники питомої радіоактивності по **^{228}Ra(Th)** вторинних каолінів Балашівського родовища (213 Бк/кг) у **4,44 рази вище** ніж пегматитів Лозоватського родовища (48 Бк/кг).

Високі концентрації торію, у вторинних каолінах Балашівського родовища, можуть свідчити про розмив родовищ (рудопроявів) рідкісноземельних металів. Цей факт потребує додаткового вивчення.

Висновки.

1. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97) потребують коригування.
2. Гідрогенні процеси формування осадових родовищ урану впливають на радіаційні показники інших корисних копалин осадового генезису.
3. В межах Інгульського мегаблоку Українського щита є геохімічні ознаки виявлення родовищ рідкісноземельних металів.

Список використаних джерел:

1. Войновський А. С., Жужома В. М., Калініна Г.В., Лобанова Л. А., Чурубров С. С. (2006). *Методичні рекомендації для складання геохімічних карт (геохімічної спеціалізації геологічних утворень докембрійського фундаменту та прогнозно-геохімічної) масштабів 1:200 000 та 1:50 000 стосовно умов Українського щита*. Київ: УкрДГРІ. 96 с.
2. Гурський Д. С., Есипчук К. Ю., Калінін В. І., Куліш Е. О., Чумак Д. М., Шумлянський В. О. (2006). *Металічні корисні копалини України*. Київ-Львів: «Центр Европи». 560-603.
3. National Minerals Information Center. USGS. *Mineral Commodity Summaries 2026 (*for 2010-2026) https://www.usgs.gov/centers/national-minerals-information-center/mineral-commodity-summaries
4. Верховна Рада України. *Про введення в дію Державних гігієнічних нормативів "Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97)"*. Постанова № 62 від 01.12.97. Розділ 8.6.1. https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0062282-97#Text
5. Michel Cuney, Julien Mercadier, Christophe Bonnetti. (2022). Classification of Sandstone-Related Uranium Deposits. *Journal of Earth Science*. 2022, 33 (2): 236-256. DOI:10.1007/s12583-021-1532-x
6. Соболевская М.Ф. (1990). *Поисково-оценочные работы на Балашевском, Панчевском и других участках вторичных каолинов Кировоградской и Черкаской областей. З*віт. Київ.

References

Voinovskyi A. S., Zhuzhoma V. M., Kalinina H. V., Lobanova L. A., Churubrov S. S. (2006). *Methodological recommendations for compiling geochemical maps (geochemical specialization of geological formations of the Precambrian basement and predictive-geochemical) at scales of 1:200,000 and 1:50,000 regarding the conditions of the Ukrainian Shield*. Kyiv: UkrDGRI. 95 p. [in Ukrainian]

Hurskyi D. S., Esypchuk K. Iu., Kalinin V. I., Kulish E. O., Chumak D. M., Shumlianskyi V. O. (2006). *Non-metallic minerals of Ukraine.* Kyiv-Lviv: «Center of Europe». 38-44 p. [in Ukrainian]

National Minerals Information Center. USGS. *Mineral Commodity Summaries 2026* (for 2010-2026) https://www.usgs.gov/centers/national-minerals-information-center/mineral-commodity-summaries

Verkhovna Rada of Ukraine. *On the Implementation of State Hygienic Standards "Radiation Safety Standards of Ukraine (NRBU-97)".* Resolution No 62, December 1, 1997. Section 8.6.1. https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0062282-97#Text [in Ukrainian]

Michel Cuney, Julien Mercadier, Christophe Bonnetti. (2022). Classification of Sandstone-Related Uranium Deposits. *Journal of Earth Science*. 2022, 33 (2): 236-256. DOI:10.1007/s12583-021-1532-x

Sobolevskaia M.F. (1990). *Prospecting and evaluation works in Balashevsky, Panchevsky and other sections of secondary kaolins in Kirovohrad and Cherkasy regions*. Report. Kyiv [in Russian]

УДК 556.53:549:550.4:504.064

ДОСЛІДЖЕННЯ ДОННИХ ВІДКЛАДІВ РІЧОК КАЛУСЬКОГО ГІРНИЧОПРОМИСЛОВОГО РАЙОНУ ЯК ОБ'ЄКТ ГЕОЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ

***Яремчук Я.В.*[1]**, *к. геол. н., ст. дослідник, ORCID ID 0009-0008-3952-6356, slava.yaremchuk@gmail.com,*
***Садовий Ю.В.*[2]**, *ORCID ID 0009-0002-0617-7133, ysadovyi@gmail.com,*
***Городечна Н.В.*[1]**, *ORCID ID 0009-0003-8389-5953, gorod4@ukr.net,*
***Галамай А.Р.*[1]**, *к. геол. н., с. н. с., ORCID ID 0000-0003-4864-6401, galamaytolik@ukr.net,*
1 – Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, Львів, Україна,
2 – ДУ «Державний науково-дослідний і проектний інститут основної хімії», Харків, Україна

Досліджено мінеральний та елементний склад пелітової фракції донних відкладів річок Сівка і Кропивник Калуського гірничопромислового району. За результатами Х-променево-дифрактометричного та енергодисперсійного аналізів у цій фракції встановлено переважання гідрослюди й Mg-Fe хлориту та присутність змішаношарових утворень із монтморилонітовою компонентою. Виявлено локальні варіації елементного складу, зокрема підвищений вміст Fe на ділянці надходження потічка з відвалу № 1 Домбровського кар'єру. Отримані результати характеризують мінералогічний та елементний контекст формування донних відкладів і визначають напрями подальших кількісних геохімічних досліджень.

Ключові слова: донні відклади, Х-променево дифрактометричний аналіз, енергодисперсійний аналіз, геоекологічний моніторинг, Калуський гірничопромисловий район.

STUDY OF BOTTOM SEDIMENTS OF THE SIVKA AND KROPYVNYK RIVERS IN THE KALUSH MINING AND INDUSTRIAL DISTRICT AS AN OBJECT OF GEOECOLOGICAL MONITORING

***Yaremchuk Y.*[1]**, *PhD (Geol.), Senior Researcher, ORCID ID 0009-0008-3952-6356, slava.yaremchuk@gmail.com,*
***Sadovyi J.*[2]**, *ORCID ID 0009-0002-0617-7133, ysadovyi@gmail.com,*
***Horodechna N.*[1]**, ORCID ID 0009-0003-8389-5953, *gorod4@ukr.net,*
***Galamay A.*[1]**, *PhD (Geol.), Senior Researcher, ORCID ID 0000-0003-4864-6401, galamaytolik@ukr.net,*
1 – Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals, NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine,
2 – State Institution State Scientific Research and Design Institute of Basic Chemistry (NIOCHIM), Kharkiv, Ukraine

The mineral and elemental composition of the pelitic fraction of bottom sediments from the Sivka and Kropyvnyk rivers in the Kalush mining and industrial district was investigated. X-ray diffractometric and energy-dispersive analyses revealed a predominance of illite and Mg-Fe chlorite, as well as mixed-layer minerals containing a smectite component. Local variations in the elemental composition of the pelitic fraction were identified, including an elevated Fe content at the site receiving runoff from Waste Dump No. 1 of the Dombrovskyi Quarry. The results characterize the mineralogical and elemental context of bottom-sediment formation and define directions for further quantitative geochemical investigations.

Keywords: bottom sediments, X-ray diffractometric analysis, energy-dispersive analysis, geoecological monitoring, Kalush mining and industrial district.

Вступ. Донні відклади річок є важливим компонентом водних екосистем, оскільки виконують роль природного депо мінеральної та органічної речовини й акумулюють хімічні елементи природного та антропогенного походження. На відміну від водної товщі, склад якої може швидко змінюватися під впливом гідрологічних умов, донні відклади відображають інтегральний результат тривалого надходження речовини і тому використовуються як індикатор довгострокового екологічного стану річкових систем (Liuta & Sanina, 2023; Chiaia–Hernández et al., 2022).

Особливого значення їх дослідження набуває у гірничопромислових районах, де тривала розробка родовищ супроводжується трансформацією природного середовища та надходженням мінералізованих вод, продуктів розчинення порід і компонентів гірничопромислових відходів. За таких умов донні відклади можуть накопичувати речовину техногенного походження та зберігати інформацію про тривалий антропогенний вплив. Зокрема, для Криворізького басейну встановлено зміни гранулометричного, хімічного та мінералогічного складу сучасних донних відкладів під впливом гірничодобувних і металургійних підприємств, а також збагачення окремих природно-техногенних відкладів залізовмісними мінералами (Hlebenko & Ivanchenko, 2025).

Одним із найбільш екологічно напружених гірничопромислових районів України є Калуський гірничо-промисловий район, де тривалий час здійснювався видобуток калійних солей відкритим і підземним способами. Припинення експлуатації родовищ не усунуло екологічних проблем: затоплення Домбровського кар'єру, накопичення високомінералізованих розсолів та розчинення соленосних товщ зумовлюють тривале надходження мінеральних компонентів у довкілля. Попередні дослідження засвідчили формування значного ареалу засолення підземних вод, зміну їх гідрохімічного типу та тривалий вплив високомінералізованих розсолів на річки Сівка і Кропивник, гідравлічно пов'язані з водоносним горизонтом (Sadovyi & Galamay, 2024).

Водночас основна увага попередніх досліджень Калуського району була зосереджена на гідрохімії поверхневих і підземних вод, складі розсолів Домбровського кар'єру та процесах засолення, тоді як донні відклади річок залишаються недостатньо вивченими. Їх дослідження є важливим не лише для оцінки накопичення потенційно забруднювальних компонентів, а й з огляду на можливість їх повторного надходження у водне середовище за зміни фізико–хімічних умов (Liuta & Sanina, 2023; Linnik & Zubenko, 2000; Chiaia-Hernández et al., 2022). Така перспектива є особливо актуальною в умовах подальшого поширення високомінералізованих розсолів та можливого відновлення господарської діяльності, пов'язаної з видобутком соляної сировини на Прикарпатті.

Метою роботи є дослідження мінерального складу пелітової фракції донних відкладів річок Сівка і Кропивник, оцінка її інформативності для геоекологічного моніторингу території тривалого впливу калійного виробництва та обґрунтування напрямів подальших геохімічних досліджень.

Об’єктом дослідження є донні відклади річок Сівка та Кропивник у межах Калуського гірничопромислового району Івано-Франківської області. Річка Сівка бере початок поблизу м. Долина, протікає через Калуш і впадає у Дністер; її довжина становить 79 км, площа водозбору – близько 595 км². Річкова мережа басейну добре розвинена, а основними притоками є Кропивник і Болохівка (рис. 1). У верхній течії Сівка має характер гірського потоку, нижче с. Голинь – переважно рівнинний характер. Донні відклади річки мають полігенне походження та формуються за рахунок як розмиву місцевих ґрунтів і порід, так і надходження матеріалу з розташованих вище ділянок басейну.

Особливістю району є тривале техногенне навантаження, пов’язане з розробкою Калуш-Голинського родовища калійних солей (Sadovyi & Galamay, 2024). До гідрологічної системи Сівки та Кропивника протягом багатьох десятиліть надходять високомінералізовані соляні розчини з хвостосховищ, шламонакопичувача, відвалів розкривних порід Домбровського кар’єру та затоплених гірничих виробок. Надходження відбувається як поверхневим стоком, так і через гідравлічно пов’язані з руслами водоносні горизонти та підрусловий потік. Тривалий вплив цих процесів супроводжується засоленням водотоків, зміною умов осадонакопичення, накопиченням органічно збагачених мулових відкладів та інтенсивним утворенням залізистих гідроксидів, що візуально фіксується на окремих ділянках русел.

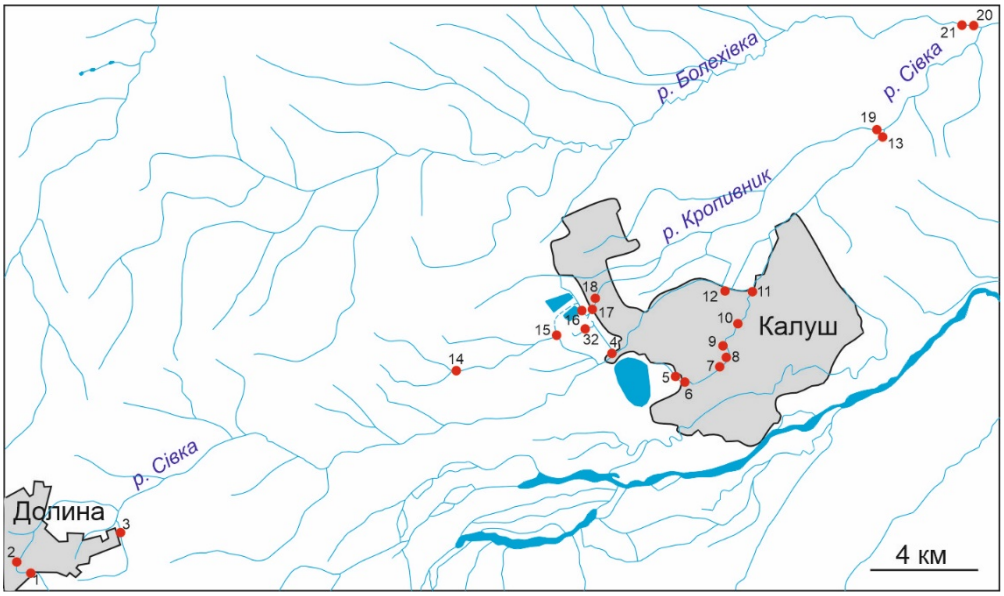


Рис. 1. Річкова мережа району досліджень з місцями відбору проб. Номери проб згідно табл. 1.

Таблиця 1

Характеристика пунктів відбору проб донних відкладів річок Сівка і Кропивник

№ п/п	Назва	Річка	Місце відбору	Техногенний вплив
1	С-1	Сівка	м. Долина, вул. Оболонська	фонова ділянка
2	С-2	Сівка	м. Долина, нижче впадіння потічка з району шахти «Барбара»	надходження шахтних розсолів; зона просідання
3	С-3	Сівка	м. Долина	побутові стоки
4	С-4	Сівка	нижче впадіння потічка від хвостосховища № 1	вплив стоку з хвостосховища № 1
5	С-5	Сівка	місце впадіння потічка з відвалу № 1 у старе русло р. Сівки	вплив стоку з відвалу № 1
6	С-6	Сівка	м. Калуш, вул. Окружна	відвал № 1; побутові стоки
7	С-7	Сівка	м. Калуш, вул. Чорновола	зона просідання; побутові стоки
8	С-8	Сівка	м. Калуш, проммайданчик	промислова зона
9	С-9	Сівка	м. Калуш, вул. Фабрична – вул. Банянської	промислова зона; побутові стоки
10	С-10	Сівка	Північне Каїнітове поле	активне просідання та провали; витискання концентрованих соляних розчинів із затоплених виробок
11	С-11	Сівка	старе русло р. Сівки, перед впадінням каналу	багатодесятилітнє надходження соляних розчинів
12	С-12	Сівка	район автопарку	промислова зона
13	С-13	Сівка	перед гирлом р. Кропивника	зона змішування вод річок Сівки та Кропивника
14	Кр-1	Кропивник	західна околиця с. Кропивник	фонова ділянка
15	Кр-2	Кропивник	поворот у штучне русло	побутові стоки; зона просідання
16	Кр-3	Кропивник	колишнє штучне русло, нижче шламонакопичувача	фільтрація та переливання соляних розчинів із шламонакопичувача
17	Кр-4	Кропивник	нижче залізничного моста	розсоли з хвостосховища № 1 та шламонакопичувача; активне відкладення гідроксидів заліза
18	Кр-5	Кропивник	міст на Вінісін	те саме
19	Кр-6	Кропивник	гирло р. Кропивника	зона змішування вод річок Кропивника та Сівки
20	Дуб		р. Блохівка перед впадінням у р. Сівку	зона змішування вод річок Болохівки та Сівки
21	Дуб(фонова)		фонова ділянка	фонова проба

Матеріали і методи. Попереднє дослідження вертикальної неоднорідності проби донних відкладів р. Сівка не виявило суттєвих відмінностей мінерального складу її верхньої, середньої та нижньої частин, тому подальше опробування проводили без пошарового розділення. Відібрано 13 проб із р. Сівка, 6 – із р. Кропивника, одну пробу з р. Болохівки та одну фонову пробу; загалом досліджено 21 пробу (див. рис. 1; табл. 1).

Гранулометричне розділення донних відкладів проводили за методиками (Khmelevskyi & Khmelevska, 2011; Milner, 1962), адаптованими до досліджуваного матеріалу. Після відмучування у дистильованій воді та видалення першої порції суспензії піщану фракцію (>0,1 мм) відокремлювали ситуванням, а алевритову і пелітову – методом гравітаційного осадження за законом Стокса. Із пелітової фракції (<0,01 мм) додатково виділяли фракцію <0,005 мм для рентгенографічного дослідження**.**

Мінеральний склад визначали Х-променево-дифрактометричним (XRD) аналізом (дифрактометр АДП–2.01; FeKα–випромінювання, Mn–фільтр; U = 40 кВ, I = 15 мА) на орієнтованих препаратах у повітряно-сухому стані, після насичення етиленгліколем та прожарювання при 550 °С. Елементний склад пелітової фракції визначали енергодисперсійним мікрозондовим аналізом (EDX) на системі ULTIM MAX, інтегрованій зі CEM Zeiss EVO-40XVP. Аналіз проводили на максимально можливій площі зразка; результати наведено як нормалізовані масові частки визначених елементів.

Результати досліджень. Попереднє дослідження вертикальної неоднорідності показало загалом подібний мінеральний склад верхньої, середньої та нижньої частин донного осаду, що дозволило надалі зосередитися на просторовому, а не вертикальному розподілі проб.

За результатами рентгенофазового аналізу мінеральний склад пелітової фракції донних відкладів річок Сівки і Кропивника характеризується значним різноманіттям. Основними глинистими мінералами є гідрослюда та хлорит, які супроводжуються змішаношаровими утвореннями гідрослюда-монтморилоніт і хлорит-монтморилоніт (табл. 2). У частині проб р. Сівки встановлено монтморилоніт. Його значний вміст характерний для проб, відібраних у межах м. Долина; поодинокі прояви також зафіксовано в районі автопарку та перед гирлом р. Кропивника. В окремих пробах монтморилоніт інтерпретовано як органо-монтморилонітовий комплекс, що, ймовірно, зумовлено взаємодією мінералу з органічною речовиною та порушенням структурної впорядкованості міжшарових проміжків.

Мінеральний склад пелітової фракції донних відкладів р. Кропивника змінюється в широкому діапазоні – від практично двофазної асоціації добре окристалізованих гідрослюди та хлориту до складніших мінеральних асоціацій із присутністю органомонтморилоніту, набухаючого та дефектного хлориту. Монтморилонітова складова у формі монтморилоніту, органомонтморилоніту або змішаношарових утворень виявлена у більшості досліджених проб цієї річки.

Дифрактограми майже всіх проб, за винятком зразків із пунктів Північне Каїнітове поле та західна околиця с. Кропивник, характеризуються широким дифузним гало в діапазоні 18–32° 2θ. У частині проб додатково фіксуються слабкі дифузні максимуми в області малих кутів, яким відповідають міжплощинні відстані 1,73–2,21 нм. Вираженість цих особливостей у частині проб може бути пов’язана з наявністю органічної речовини, пов’язаної з глинистими мінералами; саме в таких зразках зафіксовано органомонтморилоніт. Водночас широке дифузне гало може також свідчити про присутність слабкокристалізованої або рентгеноаморфної мінеральної складової, зокрема оксидів і гідроксидів заліза.

Серед неглинистих мінералів у пелітовій фракції встановлено кварц і польові шпати. У пробах із пункту Північне Каїнітове поле додатково виявлено магнезит (див. табл. 2).

Таблиця 2

Мінеральний склад пелітової фракції донних відкладів річок Сівка і Кропивник за даними Х-променевого дифрактометричного аналізу

Проба	It	Ch/ Ch*/Ch^d	Kl	Mm/Mm*	C-M	I-M	Qz	Fs	Mg	Org
Річка Сівка										
С-1	++	+	+	++(Mm*)	+	+	±	±	–	++
С-2	++	+	+	+++	–	±	±	±	–	+
С-3	++	+	+	++	+	+	+	±	–	++
С-4	++	++	+	–	++	+	+	±	–	++
С-5	+++	++	±	–	±	±	±	±	–	++
С-6	+++	++	±	–	–	±	±	–	–	+
С-7	+++	+	–	–	–	±	±	±	–	++
С-8	++	++	±	–	+	–	±	±		++
С-9	+++	++	±	–	–	–	–	–	±	++
С-10	+++	++	±	–	–	±	–	–	+	–
С-11	++	+	±	–	++	++	+	±		++
С-12	++	+	+	+	+	+	+	±	–	++
С-13	++	+	+	+	+	+	+	±	–	++
Річка Кропивник										
Кр-1	+	–	±	+++	+	+	±	–	–	–
Кр-2	++	+(Ch*)	±	–	–	±	+	±	–	++
Кр-3	+	–	–	+(Mm*)	+	+	±	±	–	+++
Кр-4	+++	++	–	–	–	±	±	±	–	++
Кр-5	+	±	+	+(Mm*)	–	+	–	–	–	+++
Кр-6	+	±	–	+(Mm*)	+	+	–	–	–	+++
Дуб	+	+(Ch^d)	±	+(Mm*)	+	±	+	+	–	++
Дуб(фонова)	+	+	±	+(Mm*)	+	+	+	±	–	++

Позначення мінералів: It – гідрослюда; Ch – хлорит (Ch* – набухаючий, Ch^d – дефектний); Kl – каолініт; Mm – монтморилоніт (Mm* – монтморилоніт, асоційований з органічною речовиною; умовно – органомонтморилоніт); Qz – кварц; Fs – польовий шпат; Mg – магнезит. Позначення змішаношарових утворень: C-M – хлорит-монтморилоніт; I-M – гідрослюда-монтморилоніт. Умовні позначення: Org – ймовірна органічна складова, асоційована з глинистими мінералами, за непрямими рентгенографічними ознаками; +++ – основна складова/сильний прояв; ++ – значний вміст/виражений прояв; + – присутність/слабкий прояв; ± – сліди; – – не виявлено.

За даними EDX-аналізу (табл. 3) елементний склад пелітової фракції загалом узгоджується з її мінеральним складом за даними XRD. Вміст K становить 2,81–5,83 ваг. %, а його максимальні значення у пробах С-9 та С-10 (6,97 і 6,83 ваг. %) відповідають високому вмісту гідрослюди, визначеної в них як основна складова. Підвищений вміст Mg у цих самих пробах (5,06 і 5,52 ваг. %) пов'язаний із присутністю магнезиту, встановленого за XRD. Вміст Fe змінюється від 7,29 до 19,68 ваг. %, причому максимальне значення зафіксовано у пробі С-5. Підвищений вміст Fe узгоджується з польовими спостереженнями надходження залізистих розчинів та інтенсивного відкладення гідроксидів заліза в руслах річок. Вміст Ca становить 0,06–2,95 ваг. % і загалом узгоджується з присутністю монтморилонітової складової.

Обговорення. Отримані результати показують узгодженість мінералогічного та елементного складу пелітової фракції. Варіації вмісту K і Mg у пробах С-9 та С-10 відповідають особливостям їхнього мінерального складу, зокрема значній ролі гідрослюди та присутності магнезиту. Це підтверджує інформативність поєднання XRD та EDX для характеристики мінеральної складової донних відкладів.

Підвищений вміст Fe, особливо у пробі С-5, узгоджується з польовими спостереженнями надходження залізистих розчинів та відкладення гідроксидів заліза в руслах річок. Водночас широке дифузне гало на дифрактограмах може мати як органічне, так і мінеральне походження, тому форми знаходження Fe за результатами XRD та EDX однозначно не встановлюються.

Таблиця 3

Елементний склад пелітової фракції донних відкладів річок Сівка і Кропивник за даними EDX-аналізу, ваг. %

Проба	Mg	Al	Si	K	Ca	Ti	Fe	Інші(O/Na)
Річка Сівка								
С–1	1,10	11,49	32,57	3,58	1,00	0,65	9,62	39,99
С–2	1,21	11,57	32,77	3,63	2,95	0,77	8,24	38,85
С–3	0,98	10,74	36,74	3,46	1,29	0,50	10,23	36,06
С–4	1,43	10,59	32,92	4,10	1,22	0,76	13,23	35,22/0,53
С–5	2,52	8,76	23,85	4,78	0,72	0,45	19,68	39,24
С–6	3,29	10,70	27,36	5,83	0,38	0,39	8,92	43,14
С–7	2,19	9,47	28,97	4,85	0,40	0,39	7,58	46,14
С–8	2,32	9,80	29,98	4,90	0,35	0,56	8,10	43,99
С–9	5,06	12,16	27,02	6,97	0	0,77	9,49	38,54
С–10	5,52	12,30	27,87	6,83	0,06	0,90	10,31	36,21
С–11	1,65	12,32	33,73	4,55	0,74	1,23	11,95	33,82
С–12	1,13	11,83	34,58	3,36	1,07	0,89	10,13	36,58/0,41
С–13	1,36	10,42	32,26	3,68	0,81	0,78	10,40	40,29
Річка Кропивник								
Кр–1	1,16	12,19	33,85	3,08	0,94	0,86	7,29	40,23/0,41
Кр–2	1,30	12,03	33,47	4,09	0,73	0,59	11,47	36,33
Кр–3	1,49	13,00	27,78	3,61	0,23	0,76	16,55	37,58
Кр–4	1,49	11,13	28,30	3,92	0,26	0,47	14,47	39,96
Кр–5	1,20	10,42	30,77	3,29	0,24	0,78	14,63	38,67
Кр–6	1,05	9,71	35,21	2,81	0,48	0,70	8,26	41,77
Дуб	0,88	9,59	34,63	2,95	0,23	0,79	12,15	38,77
Дуб(фонова)	1,31	10,55	34,40	3,78	0,69	0,91	9,52	38,85

Отримані дані характеризують мінералогічний та елементний контекст формування донних відкладів і дають змогу визначити ділянки, перспективні для подальшого геохімічного дослідження. Нормалізовані результати EDX не дають змоги оцінити валовий вміст елементів або їх відповідність нормативним значенням. Тому встановлення рівня накопичення потенційно токсичних елементів, закономірностей їх розподілу та можливої техногенної складової потребує подальшого кількісного геохімічного аналізу.

Список використаних джерел:

Люта, Н. Г., & Саніна, І. В. (2023). Особливості розподілу вмісту важких металів у донних відкладах у різних природно-антропогенних умовах. *Мінеральні ресурси України*, (1), 35–38. https://doi.org/10.31996/mru.2023.1.35-38

Садовий, Ю. В., & Галамай, А. Р. (2024). Аналіз техногенних змін хімічного складу гідросфери в районі колишнього калійно-магнієвого виробництва у місті Калуш. In *Матеріали XXII Міжнародної науково-практичної конференції «Ресурси природних вод Карпатського регіону»* (с. 84–87).

Хмелевський, В. О., & Хмелевська, О. В. (2011). *Літологія. Седиментогенез*. Львівський національний університет імені Івана Франка.

Chiaia-Hernández, A. C., Casado-Martínez, C., Lara-Martín, P. A., & Bucheli, T. D. (2022). Sediments: Sink, archive, and source of contaminants. *Environmental Science and Pollution Research, 29*, 85761–85765. https://doi.org/10.1007/s11356-022-24041-1

Hlebenko, N. O., & Ivanchenko, V. V. (2025). Modern deposits of rivers and running gullies in the Kryvyi Rih Basin: Common features and significant differences. *Geology and Mineral Resources of World Ocean, 21*(1), 82–90. https://doi.org/10.15407/gpimo2025.01.082

Linnik, P. M., & Zubenko, I. B. (2000). Role of bottom sediments in the secondary pollution of aquatic environments by heavy-metal compounds. *Lakes & Reservoirs: Research and Management, 5*, 11–21. https://doi.org/10.1046/j.1440-1770.2000.00094.x

Milner, H. B. (1962). *Sedimentary petrography: With special reference to petrographic methods of correlation of strata, petroleum technology and other economic applications of geology* (4th rev. ed., Vol. 1, *Methods in sedimentary petrography*). Allen & Unwin.

References

Chiaia-Hernández, A. C., Casado-Martínez, C., Lara-Martín, P. A., & Bucheli, T. D. (2022). Sediments: Sink, archive, and source of contaminants. *Environmental Science and Pollution Research, 29*, 85761–85765. https://doi.org/10.1007/s11356-022-24041-1

Hlebenko, N. O., & Ivanchenko, V. V. (2025). Modern deposits of rivers and running gullies in the Kryvyi Rih Basin: Common features and significant differences. *Geology and Mineral Resources of World Ocean, 21*(1), 82–90. https://doi.org/10.15407/gpimo2025.01.082

Khmelevskyi, V. O., & Khmelevska, O. V. (2011). *Litolohiia. Sedymtohenez*. Lvivskyi natsionalnyi universytet imeni Ivana Franka. [in Ukrainian]

Liuta, N. H., & Sanina, I. V. (2023). Osoblyvosti rozpodilu vmistu vazhkykh metaliv u donnykh vidkladakh u riznykh pryrodno-antropohennykh umovakh. *Mineralni resursy Ukrainy*, (1), 35–38. https://doi.org/10.31996/mru.2023.1.35-38 [in Ukrainian]

Linnik, P. M., & Zubenko, I. B. (2000). Role of bottom sediments in the secondary pollution of aquatic environments by heavy-metal compounds. *Lakes & Reservoirs: Research and Management, 5*, 11–21. https://doi.org/10.1046/j.1440-1770.2000.00094.x

Milner, H. B. (1962). *Sedimentary petrography: With special reference to petrographic methods of correlation of strata, petroleum technology and other economic applications of geology* (4th rev. ed., Vol. 1, *Methods in sedimentary petrography*). Allen & Unwin.

Sadovyi, Yu. V., & Galamay, A. R. (2024). Analiz tekhnohennykh zmin khimichnoho skladu hidrosfery v raioni kolyshnoho kaliino-mahniievoho vyrobnytstva u misti Kalush. In *Materialy XXII Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Resursy pryrodnykh vod Karpatskoho rehionu»* (pp. 84–87). [in Ukrainian]

ВИКОРИСТАННЯ ПІДЗЕМНИХ ВОД



УДК 556.334

ПРОГНОЗУВАННЯ НОВИХ ДЖЕРЕЛ ЗАХИЩЕНИХ ПИТНИХ ВОД КАМИШЕВАСЬКО-ТОРСЬКОЇ ГРУПИ (УКРАЇНА)

Бобров О.[1], *д. геол.-мін. н., професор, albobrov@ukr.net;*
Гейченко М.[2], *к. геол. н., geich@ukr.net;*
Мєнасова А.[3], *к. геол. н., доцент, mangelina@ukr.net;*
Яськевич Т.[1], *к. геол. н., iaskevych@ukr.net;*
1 – Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України, Київ, Україна,
2 – ТОВ Укрлітійвидобування, Україна,
3 – ННІ «Інститут геології» КНУ ім. Тараса Шевченка,

З метою нарощування резервів вод України було розглянуто водоносність та перспективи використання вод Ямпільсько-Торського типу в межах Бахмутської синкліналі. Дослідження показують, що дана геологічна структура може забезпечити значний ресурс вод різного типу і, також, стабілізацію кліматичного режиму регіону. Для характеристики якості природних вод використовувалися результати лабораторних аналізів проб води, відібраних під час буріння свердловин, пробних і пілотних відкачок та режимних спостережень з 1978 по 1998 рік. Це надало інформацію в обсязі, необхідному та достатньому для обґрунтованої характеристики основних фізичних властивостей та хімічного складу розрахункової столової води та умов її утворення.

Ключові слова: водоносний горизонт, природні води, родовище Камишуватське

PREDICTION OF GROUNDWATER'S NEW RESOURCES IN THE KAMYSHEVAKHA-TORETS GROUP (UKRAINE)

Bobrov O.[1], *Dr. Sci. (Geol.&Miner.), Prof., albobrov@ukr.net;*
Heichenko M.[2], *PHD (Geol.), geich@ukr.net;*
Mienasova A.[3], *PHD (Geol.), Assoc. Prof., mangelina@ukr.net;*
Iaskevych T.[1], *PHD (Geol.), iaskevych@ukr.net;*
1 – M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine,
2 – "Ukrlithiummining" LLC, Ukraine,
3 – Institute of Geology Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

In order to build up Ukraine's water reserves, the water yield and prospects for utilizing Yampil-Tor type waters within the Bakhmut syncline were examined. Studies show that this geological structure can provide a significant resource of various water types as well as stabilize the region's climate regime. To characterize the quality of natural waters, laboratory analysis results were used from water samples collected during well drilling, test and pilot pumping, and routine monitoring from 1978 to 1998. This provided sufficient and necessary information for a well-substantiated characterization of the main physical properties and chemical composition of the estimated table water, as well as the conditions of its formation.

Keywords: aquifer, natural waters, Kamyshevakha deposit

Вступ. Ресурси природніх вод України сьогодні або стрімко вичерпуються, а в окремих регіонах знаходяться на межі вичерпання. Аналогічною, в цілому, є ситуація в усьому світі.

В умовах тотального дефіциту води в Україні і світі необхідним є якнайшвидше проведення прогнозно-пошукових робіт в тих районах, де за певними критеріями можна прогнозувати значні запаси захищених питних/мінеральних вод.

На сході України давно відоме родовище мінеральних та питних вод – Камишуваське, зокрема Торська ділянка, яка розташована на лівому березі річки Жеребець у селі Торське Краматорського району. Впродовж 2020-2022 рр. компанією ABMAV SubSahara (SL) Ltd на замовлення групи компаній Tandem Liber Holdings були проведені роботи з узагальнення матеріалів щодо питних, мінеральних та техногенних захищених вод Ямпільсько-Торського

типу (Бахмутська синкліналь) для нарощування резервів вод України в умовах виснаження, або вичерпання запасів відомих брендів вітчизняних мінеральних вод.

Результати досліджень. Були підраховані запаси та ресурси високих категорій (Proved/Probable Reserves) трьох типів вод, що знайшло відображення у технічному звіті, складеним за технічним стандартом NI 43-101. Дослідження показали, що еталонний регіон відповідає критеріям напірності та захищеності вод, а також велика площа геологічної структури (Бахмутська мульда) забезпечує значний ресурс різних типів вод, який може забезпечити кліматичний режим регіону [3, 4].

Поповнення водоносного горизонту оцінюється в обсязі 124,8 тис. м^3/добу. На Камишеваському родовищі було пробурене три водоносні свердловини – свердловина Т-4; свердловина А-3279 на Торській площі та свердловина Т-3 на Ямпільській площі (рис. 1). Для характеристики якості природних столових вод Торського та Ямпільського районів використовувалися результати лабораторних аналізів проб води, відібраних як під час буріння свердловин, так і під час пробних і пілотних відкачувань та режимних спостережень з 1978 по 1998 рік. Це надало інформацію в обсязі, необхідному та достатньому для обґрунтованої характеристики основних фізичних властивостей та хімічного складу розрахункової столової води та умов її утворення [2].

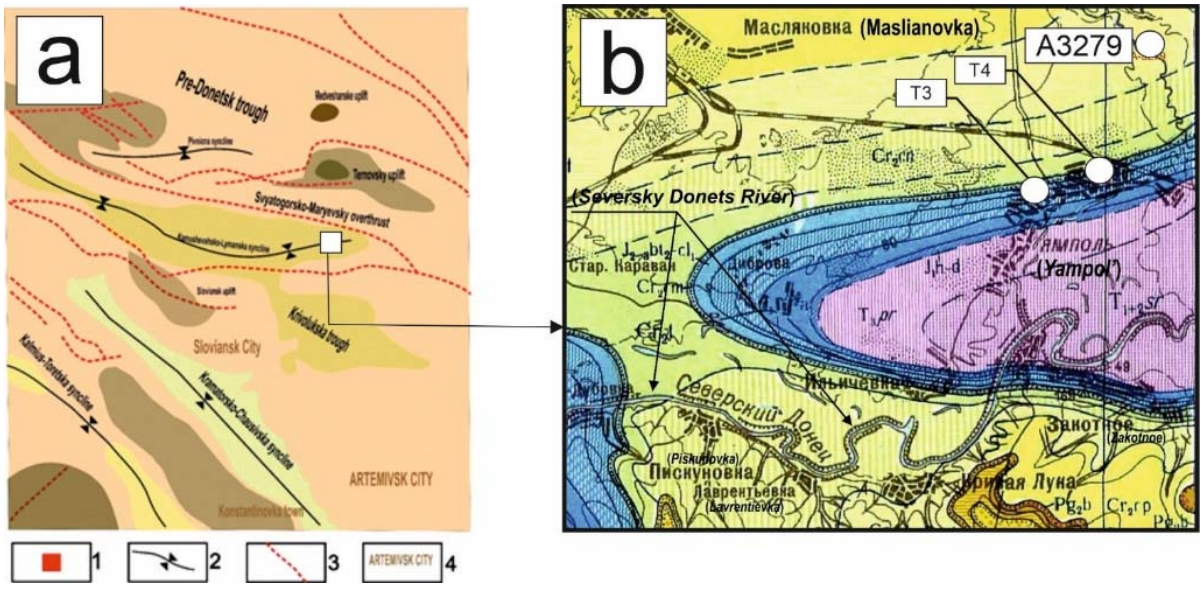


Рис. 1. Геологічна будова та підрахунок запасів Камишеваського родовища; (a) – тектонічна схема будови району Бахмутської синкліналі та деталі геологічної будови Ямпільської та Торської ділянок з положенням свердловин на крупномасштабній врізці (b)

Під час розвідки Камишеваського родовища [3, 4] було також встановлено, що експлуатаційні запаси верхньотріасового водоносного комплексу забезпечуються природними ресурсами, що утворюються внаслідок інфільтрації атмосферних опадів, переливів з вищерозміщених алювіальних, верхньокрейдових та юрських водоносних горизонтів, а також внаслідок інфільтрації з річок. У зв'язку з цим, під час експлуатації даного водоносного комплексу очікується його поповнення за рахунок вищезазначених ґрунтових, а також поверхневих вод.

За хімічним складом води родовища мають змішаний аніонний та катіонний склад з переважанням бікарбонатних та кальцієвих (натрієвих) іонів з мінералізацією 0,2-1,3 г/дм^3, переважно 0,2-0,5 г/дм^3. Це свідчить про достатню близькість їх хімічного складу та мінералізації з хімічним складом та солоністю відкритих природних столових вод, що за умов

взаємозв'язку та переливу, поряд з результатами, отриманими під час пілотних відкачувань та режимних спостережень, є достатньою гарантією стабільності хімічного складу столових вод верхньотріасового водоносного комплексу під час експлуатації.

Висновки. Таким чином, весь комплекс досліджень, проведених на Торській та Ямпільській ділянках протягом 20 років, включаючи проведені піврічні оперативні відкачування та стаціонарні режимні спостереження, практично виключає можливість зміни якості розрахункової столової води «Романівська» під час її експлуатації понад встановлені норми та гарантує стабільність якості води протягом усього розрахункового періоду.

Відповідно до діючої інструкції Державної комісії України по запасах корисних копалин [1] фактичний об'ємний дебіт як для природної питної води на родовищі класифікується в якості видобувних запасів:

- по свердловині Т-4 – 450 м^3/добу;
- по свердловині А-3279 – 751 м^3/добу;
- по свердловині Т-3 – 400 м^3/добу.

Загальні видобувні запаси Камишеваського родовища природної питної води «Романівська» становлять 1601 м^3/добу.

Структура водозбору Бахмутської синкліналі неоднорідна. Наявні різні елементи ускладнюючих складчастих структур синкліналі, які за умов детального вивчення можуть бути тиражовані в інших подібних геоструктурах на захід та північний захід від неї, що є неокупованими російською федерацією. Це дозволить отримати повні структурно-речовинні та гідрогеологічні об’єкти-аналоги в межах контурів Бахмутської синкліналі з подальшою підготовкою їх до промислової експлуатації.

Список використаних джерел:

1. Інструкція із застосуванням класифікації запасів і ресурсів корисних копалин Державного фонду надр до родовищ промислових підземних вод. (2009). https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0981-09#Text
2. Kennedy TL. (2007). Understanding Risk & Uncertainty in Groundwater: A Case for Development of Groundwater Resource Classification & Reporting Code (GRCRC). University of Technology Sydney. National Centre for Groundwater Management.
3. Makhonin, V. T. (1981). "Report on the detailed exploration of underground waters of deep Mesozoic horizons in the Kamyshevakh syncline of the Bakhmut basin". Inventory № 44116, Artemovska GRE (Donbassgeologiya), Artemovsk.
4. Nikolaev V.E. (1999). Report of the production and commercial enterprise "PK Ltd" on the results of a detailed exploration of natural table waters at the Torsky and Yampolsky sites of the Kamyshevakha deposit of the Krasnolimansky district of the Donetsk region. (in five books: Book 1 - text; Book 2 - tables; Book 3 - catalog of coordinates; Book 4 - graphic appendices; Book 5 - Protocol of the State Commission for Mineral Reserves of Ukraine No. 520). Artemovsk, Artemovska GRE (Donbassgeologiya); Inventory No. 57490.

УДК 502.51:556.16:004.9(477)

КОСМІЧНИЙ МОНІТОРИНГ БЕЗПЕКИ ВОДНИХ ЕКОСИСТЕМ

Триснюк Т.В., *к. техн. н., taras24t@gmail.com,*
Мосійчук Д.І., *аспірант, deusplus@gmail.com,*
Дзюба В.А., *доктор філософії, navvon@ukr.net,*
Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України

У роботі розглянуто науково-методичні засади космічного моніторингу екологічної безпеки водних екосистем України в умовах техногенних і воєнних впливів. Обґрунтовано комплексне використання оптичних і радіолокаційних даних дистанційного зондування Землі, геоінформаційних технологій та багаточасового аналізу супутникових зображень для виявлення змін площі водного дзеркала, берегової лінії, зон підтоплення, каламутності та проявів евтрофікації. Запропоновано концептуальну модель інтеграції результатів космічного моніторингу із системою підтримки прийняття рішень для оцінювання екологічного ризику та визначення пріоритетних природоохоронних заходів.

Ключові слова. космічний моніторинг, водні екосистеми, екологічна безпека, дистанційне зондування Землі, ГІС, Sentinel, супутникові дані.

SATELLITE MONITORING OF WATER ECOSYSTEM SAFETY

Trysnyuk T., *Cand. Sci. (Eng.), taras24t@gmail.com,*
Mosiichuk D., *postgraduate student, deusplus@gmail.com,*
Dzyuba V., *PhD, navvon@ukr.net,*
Institute of Telecommunications and Global Information Space of the NAS of Ukraine

The paper presents scientific and methodological principles of satellite monitoring of water ecosystem safety in Ukraine under technogenic and wartime impacts. The integrated use of optical and radar Earth observation data, GIS technologies and multitemporal satellite image analysis is substantiated for detecting changes in water-surface area, shorelines, flooding, turbidity and eutrophication manifestations. A conceptual model is proposed for integrating satellite monitoring results with a decision support system to assess environmental risk and prioritize protective and restoration measures.

Keywords. satellite monitoring, water ecosystems, environmental safety, remote sensing, GIS, Sentinel, satellite data.

Постановка проблеми. Водні екосистеми України в сучасних умовах зазнають одночасного впливу природно-кліматичних, техногенних та воєнних чинників. Інтенсифікація господарської діяльності, урбанізація, зарегулювання річкового стоку, забруднення промисловими і комунальними стоками, зміни клімату та руйнування об’єктів водогосподарської інфраструктури призводять до трансформації гідрологічного режиму, погіршення якості поверхневих і підземних вод та деградації прибережних екосистем. В умовах бойових дій традиційна мережа контактних спостережень не завжди забезпечує необхідну просторову повноту інформації, а доступ до окремих територій є обмеженим або небезпечним. Тому особливої актуальності набувають дистанційні методи, здатні забезпечувати систематичне отримання однорідної інформації на великих площах та формування ретроспективних рядів спостережень [1-3].

Аналіз останніх досліджень. Методологічні засади геоінформаційного та космічного моніторингу водних систем розвивалися у працях О.М. Трофимчука, О.М. Адаменка, В.М. Триснюка, Г.Я. Красовського, Є.С. Анпілової, О.С. Волошкіної та інших дослідників [1–5]. У цих роботах обґрунтовано інтеграцію матеріалів дистанційного зондування Землі з ГІС, цифровими моделями рельєфу та наземними спостереженнями для картографування небезпечних гідрологічних процесів, оцінки стану водних об’єктів і прогнозування змін. Сучасні європейські системи спостереження суттєво розширили можливості такого аналізу. За матеріалами Європейського космічного агентства, Sentinel-2 завдяки 13 спектральним каналам і регулярній повторній зйомці дає змогу контролювати зміни внутрішніх та прибережних вод, оцінювати поверхневу концентрацію хлорофілу, виявляти цвітіння води та характеризувати каламутність [6]. Продукти Copernicus Lake Water Quality містять показники хлорофілу-a, загальної кількості завислих речовин, каламутності та ризику плаваючих ціанобактерій, що

підтверджує перехід від візуального дешифрування до кількісного супутникового оцінювання стану вод [7].

Мета дослідження. Метою роботи є обґрунтування комплексного підходу до космічного моніторингу екологічної безпеки водних екосистем на основі інтеграції оптичних і радіолокаційних супутникових даних, геоінформаційного аналізу та наземної інформації з подальшим формуванням просторових показників екологічного ризику і підтримкою прийняття управлінських рішень.

Виклад основного матеріалу. Запропонований підхід передбачає розгляд водної екосистеми як просторово розподіленого динамічного об'єкта, стан якого визначається сукупністю гідрологічних, гідрохімічних, гідробіологічних, спектральних та морфометричних характеристик. На вхід системи моніторингу надходять багатоспектральні дані Sentinel-2 і Landsat, радіолокаційні матеріали Sentinel-1, за необхідності — знімки високої просторової розрізненності, цифрові моделі рельєфу, межі водозборів, гідрографічна мережа, дані стаціонарних постів та результати польових вимірювань. Використання різнотипних джерел інформації дозволяє компенсувати обмеження окремих сенсорів та забезпечує більш повну характеристику стану водного середовища.

Оптичні супутникові знімки є основним джерелом інформації для оцінювання просторової структури водних об'єктів і змін їхніх оптичних властивостей. На основі співвідношень спектральної відбивної здатності у видимому, ближньому та короткохвильовому інфрачервоному діапазонах визначаються межі водної поверхні, ділянки підвищеної каламутності, зміни кольоровості води та непрямі ознаки розвитку фітопланктону. Важливою перевагою багаточасового аналізу є можливість порівнювати не окремі знімки, а послідовність станів водного об'єкта. Це дає змогу враховувати сезонність, природні коливання рівня води та відокремлювати їх від аномальних змін, пов'язаних із техногенними аваріями, воєнними пошкодженнями або екстремальними гідрометеорологічними явищами.

Радіолокаційні дані Sentinel-1 доповнюють оптичні спостереження, оскільки дозволяють проводити зйомку незалежно від хмарності та освітлення. Найбільше практичне значення вони мають для картографування затоплень, визначення динаміки водного дзеркала, контролю заболочених і прибережних територій. Поєднання оптичних та радіолокаційних матеріалів у єдиному ГІС-середовищі створює можливість перехресної перевірки результатів та підвищує надійність виділення змінених ділянок. Для водних екосистем, що перебувають у зоні воєнного впливу, така властивість є принциповою, оскільки дим, пожежі та складні атмосферні умови можуть істотно обмежувати використання оптичної зйомки.

Попередня обробка інформації включає геометричне узгодження сцен, атмосферну корекцію оптичних матеріалів, маскування хмар і тіней, радіометричне калібрування радіолокаційних даних та приведення різночасових матеріалів до єдиної картографічної основи. Після цього здійснюється виділення водних об'єктів, розрахунок спектральних показників, класифікація поверхні та просторово-часове порівняння. Для великих масивів інформації доцільним є використання хмарних геоінформаційних платформ, що дозволяють автоматизувати формування часових рядів і оперативно оновлювати результати моніторингу.

Окремий напрям становить дистанційне оцінювання якості води. Супутникові сенсори не замінюють лабораторного визначення хімічного складу, однак вони забезпечують просторове відображення оптично активних компонентів водного середовища. Зміна концентрації завислих речовин впливає на відбивну здатність води і проявляється як зміна каламутності. Вміст хлорофілу-а використовується як індикатор розвитку фітопланктону та евтрофікаційних процесів. Сучасні продукти Copernicus для якості озерних вод поєднують супутникові алгоритми з даними in situ та надають разом із тематичними показниками інформацію про якість і невизначеність оцінок [7].

Тому найбільш обґрунтованою є комбінована схема, в якій наземні спостереження використовуються для калібрування і валідації, а космічна інформація — для просторової екстраполяції результатів.

Особливе значення космічний моніторинг має для аналізу швидкоплинних гідрологічних трансформацій. Після руйнування греблі Каховської ГЕС 6 червня 2023 р. супутникові спостереження дозволили простежити масштабне затоплення нижньої течії Дніпра та подальше різке скорочення площі Каховського водосховища. Матеріали NASA MODIS демонструють суттєву відмінність стану водосховища між липнем 2022 р. та серпнем 2023 р. [8]. Такий приклад показує, що космічні дані мають використовуватися не лише для фіксації моменту надзвичайної події, а й для тривалого післяаварійного контролю, коли формуються нові руслові, гідрологічні та екосистемні умови.

Важливою складовою запропонованої системи є поєднання моніторингу поверхневих вод із оцінюванням стану прилеглих територій і підземних вод. Поверхневий та підземний стік утворюють взаємопов'язану систему, тому аварійні скиди, затоплення шахт, підтоплення промислових майданчиків або руйнування сховищ відходів можуть створювати довготривалі шляхи міграції забруднювачів. Розроблені раніше ГІС-підходи до районування територій за захищеністю ґрунтових вод можуть бути інтегровані з супутниковими картами поверхневих змін, що дозволяє перейти від локальної фіксації події до оцінки потенційних напрямів її подальшого екологічного впливу [1, 3].

Концептуальна модель космічного моніторингу

Джерела даних Sentinel-1/2, Landsat, наземні спостереження	**Попередня обробка корекція, фільтрація, узгодження сцен**	**Тематичний аналіз водне дзеркало, якість води, затоплення**
ГІС-база даних водозбори, гідромережа, джерела впливу	Просторово-часова модель динаміка, аномалії, класифікація змін	Оцінка ризику небезпека – вплив – вразливість
Наземна валідація проби, пости, експертні дані	Прогнозування сценарії розвитку небезпечних процесів	СППР карти пріоритетів, управлінські рішення

Рис. 1. Концептуальна модель космічного моніторингу безпеки водних екосистем

Інтеграція результатів космічного моніторингу із системою підтримки прийняття рішень передбачає перетворення супутникових спостережень у систему тематичних показників, придатних для управлінського використання. Інформаційне ядро такої системи включає архів супутникових сцен, карти водного дзеркала, підтоплень, каламутності, ознак евтрофікації, джерел потенційного забруднення, об'єктів критичної інфраструктури, природоохоронних територій і пунктів наземного контролю. Для кожної територіальної одиниці може визначатися рівень небезпеки, масштаб фактичного впливу та вразливість водної екосистеми. Це забезпечує формування карт пріоритетності моніторингу, визначення ділянок для першочергового польового обстеження та обґрунтування природоохоронних і відновлювальних заходів.

Запропонована модель орієнтована на циклічне оновлення. Надходження нової супутникової сцени запускає процедуру порівняння з базовим і попереднім станом, після чого результати оновлюються у ГІС. Якщо зміна перевищує встановлений поріг або просторово збігається з потенційним джерелом небезпеки, ділянка переводиться до категорії підвищеної уваги. Такий підхід дає змогу перейти від епізодичного картографування до системного спостереження, у якому кожне нове вимірювання уточнює інформаційну модель водної екосистеми.

Практична цінність космічного моніторингу полягає також у можливості документування екологічних змін на територіях, де польові дослідження тимчасово

неможливі. Архівність супутникових даних забезпечує відтворюваність аналізу, дозволяє встановлювати часові межі появи змін і порівнювати стан об’єкта до та після небезпечної події. Для післявоєнного відновлення така інформація може використовуватися для первинної інвентаризації пошкоджень, визначення пріоритетів відновлення водогосподарської інфраструктури та вибору ділянок для детального гідрохімічного і гідробіологічного обстеження.

Висновки. Проведений аналіз підтверджує, що космічний моніторинг є ефективним інструментом системного оцінювання екологічної безпеки водних екосистем, особливо в умовах обмеженого доступу до територій і високої динаміки небезпечних процесів. Комплексне використання оптичних та радіолокаційних даних забезпечує можливість контролювати просторову динаміку водного дзеркала, підтоплення, зміни берегової лінії, каламутність та непрямі прояви евтрофікації. Найбільш достовірні результати формуються за умови інтеграції супутникових даних із контактними вимірюваннями та геоінформаційним аналізом. Запропонована концептуальна модель забезпечує перехід від окремих результатів дешифрування до єдиної просторово-часової інформаційної системи, в якій дані дистанційного зондування використовуються для оцінки ризику, прогнозування розвитку небезпечних процесів та підтримки прийняття рішень. Подальший розвиток підходу доцільно спрямувати на автоматизацію обробки часових рядів, удосконалення алгоритмів визначення показників якості води, розширення наземної валідації та створення спеціалізованих ГІС-сервісів для моніторингу і післявоєнного відновлення водних екосистем України.

Список використаних джерел:

1. Трофимчук О.М., Адаменко О.М., Триснюк В.М. Геоінформаційні технології захисту довкілля природно-заповідного фонду. Івано-Франківськ: Супрун В.П., 2021. 343 с.

2. Трофимчук О.М., Триснюк В.М., Анпілова Є.С. та ін. Геоінформаційні дослідження водних екосистем України: моніторинг та прогнозування. Івано-Франківськ: Супрун В.П., 2022. 212 с.

3. Trysnyuk T., Trysnyuk V., Okhariev V., Shumeiko V., Nikitin A. Cartographic models of Dniester river basin probable flooding. Scientific Bulletin Series D. 2018. Vol. XXXII, No. 1. P. 51–55. DOI: 10.37193/SBSD.2018.1.07.

4. Trysnyuk V., Trysnyuk T., Nikitin A., Kurylo A., Demydenko O. Geomodels of space monitoring of water bodies. E3S Web of Conferences. 2021. Vol. 280. 09016. DOI: 10.1051/e3sconf/202128009016.

5. Красовський Г.Я. Космічний моніторинг безпеки водних систем з застосуванням геоінформаційних технологій. Київ: Інтертехнологія, 2008. 480 с.

6. European Space Agency. Sentinel-2: Water bodies. ESA Earth Observation. Доступ: офіційний портал ESA.

7. Copernicus Land Monitoring Service. Lake Water Quality global products: version 2.0. 2024–2026. Доступ: офіційний портал Copernicus.

8. NASA GSFC. Kakhovka Reservoir Dries Up. MODIS Image of the Day, 14 August 2023. Доступ: офіційний портал NASA MODIS

УДК 556.388

ЩОДО ОЦІНКИ ЗМІН ЯКОСТІ ПІДЗЕМНИХ ВОД У РЕЗУЛЬТАТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВОДОЗАБОРІВ

Люта Н.Г., *к. геол.-мін. н., ст. дослідник, nlyuta@ukr.net;*
Саніна І.В.*, ekogeol@ukr,net;*
ДУ "Науково-інженерний центр радіогідрогеоекологічних полігонних досліджень НАН України", м. Київ, Україна

Сучасна методика моніторингу масивів підземних вод вимагає розробки і вжиття заходів, спрямованих на подолання негативних тенденцій змін їхнього хімічного стану. В Україні якісний стан підземних вод є складним і розмаїтим, і в ряді випадків зазнає змін внаслідок впливу природних і антропогенних чинників. Автори розглянули підходи до встановлення стійких і значних тенденцій змін хімічного стану масивів підземних вод та проаналізували основні причини, які можуть обумовити зміни якості підземних вод в результаті експлуатації водозаборів.

ON THE ASSESSMENT OF CHANGES IN GROUNDWATER QUALITY CAUSED BY THE OPERATION OF WATER INTAKES

Lyuta N., *Cand. Sci. (Geol.-Mineral.), Senior Researcher, nlyuta@ukr.net;*
Sanina I., *ekogeol@ukr.net;*
SI"Radioenvironmental Centre of National Academy of Sciences of Ukraine", Kyiv, Ukraine

Modern methods for groundwater bodies monitoring require the development and implementation of measures aimed at counteracting negative trends in changes to their chemical status. In Ukraine, the quality of groundwater is complex and varied, and in some cases undergoes changes due to the influence of natural and anthropogenic factors. The authors examined approaches to identifying stable and significant trends in changes in the chemical status of groundwater bodies and analyzed the main causes that may lead to changes in groundwater quality as a result of water intakes operations.

Згідно з Водною Рамковою Директивою ЄС [2], для підземних вод, «крім вимог доброго стану, повинна бути визначена будь-яка значна та відтворювана тенденція підвищення концентрації будь-якого агента забруднення та повернена в бік її зменшення». Ця вимога стосується виняткового тих змін, які є наслідком антропогенного втручання.

Однак слід зауважити, що більшість речовин із встановленим нормативним вмістом у воді, в т.ч. ті, що належать до переліку забруднювальних речовин для визначення хімічного стану масивів підземних вод (МПзВ), затвердженого наказом Мінприроди від 06.02.2017 № 45, можуть мати як природне, так і антропогенне походження, тому з'ясування причин погіршення якості води і встановлення джерел надходження забруднень часто буває складним завданням. Водночас у процесі моніторингу це питання набуває особливої ваги, оскільки походження аномалій впливає на цілі, спрямовані на зменшення вмісту відповідних елементів і сполук, та визначає доцільність та ефективність заходів для їхнього досягнення.

Підземні води в Україні характеризуються складними умовами формування і мають строкатий якісний склад. Перевищення нормативних показників природного походження у підземних питних водах властиве як макрокомпонентам (хлориди, сульфати, натрій), так і мікрокомпонентам, передовсім залізу та марганцю.

Аналіз досвіду експлуатації водозаборів свідчить, що часто порушення природних закономірностей водообміну супроводжується негативними змінами якості підземних вод. Як правило, ці зміни є результатом комплексної дії гідродинамічних і гідрогеохімічних чинників. Крім того, значна кількість розвіданих родовищ в Україні не використовується, причому деякі з них вже стали непридатними для експлуатації внаслідок дії комплексу як природних, так і антропогенних факторів. Тому вивчення змін якості води змін і встановлення їх причин є одним з найважливіших завдань моніторингу МПзВ і гідрогеологічних досліджень в цілому.

При визначенні можливого ризику недосягнення встановлених для кожного МПзВ екологічних цілей передусім необхідно встановити наявність або відсутність стійкої та

значної тенденції змін. Основними вихідними даними для виявлення стійких тенденцій змін якості води є різночасові дані про вміст забруднювальних речовин, додатковими - дані про забір води, антропогенне навантаження, стан суміжних компонентів довкілля тощо. Оцінка тенденцій повинна базуватися на результатах даних довгострокових і системних моніторингових спостережень, які дозволяють відрізнити короткострокові ефекти від стійких тенденцій. Важливим моментом при цьому є коректне встановлення фонових і базових рівнів вмісту забруднювальних речовин і фізико-хімічних показників стану підземних вод. Тривалість спостережень, необхідних для встановлення стійких тенденцій змін стану, визначається природними й антропогенними умовами, і для кожного МПзВ може бути різною, але вона повинна становити щонайменше 6-12 років (один-два цикли плану управління річковим басейном). Ця тривалість, і, відповідно, довжина часових рядів, яку слід розглядати при оцінці тренду, залежить від того, як МПзВ реагує на антропогенний вплив в області формування його ресурсів. При цьому слід зауважити, що важливе значення має якість спостережень, оскільки довгий часовий ряд спостережень низької якості є менш інформативним, ніж середньостроковий ряд більш якісних спостережень [5, 9,10].

Оцінка тенденцій зазвичай базується на визнаному статистичному методі, переважно на регресійному аналізі, який досліджує зв'язок між залежними і незалежними змінними, і дає змогу зрозуміти, як на залежну змінну впливають зміни інших чинників, та прогнозувати тренд значень досліджуваної змінної.

Для того, щоб розрізняти природні коливання та тренди з достатнім рівнем впевненості і точності, методологія тестування трендів також повинна мати можливість враховувати сезонні зміни, де це необхідно, в основному для безнапірних МПзВ, у яких значні коливання концентрації відбуваються протягом року. Відправна точка для спрямування тенденції у зворотний бік повинна бути обрана з урахуванням екологічних ризиків, пов’язаних з МПзВ, а також екологічних цілей масиву та стандартів якості або порогових значень, встановлених для МПзВ. Такі точки обираються для забруднювальних речовин або їх груп, які становлять ризик недосягнення екологічних цілей для конкретного МПзВ.

У більшості методичних документів початковою точкою для вжиття заходів із спрямування тенденцій у зворотній бік визначено момент, коли концентрація забруднювальної речовини досягає 75-100% від відповідного порогового значення щонайменше на 20% території МПзВ. Вибрана початкова точка повинна дозволити змінити такі тенденції до того, як концентрація забрудників спричинить екологічно значущі шкідливі зміни якості підземних вод. Для розрахунків доцільно застосовувати методи статистичної обробки, зокрема, процентилю – статистичного показника, який використовується для визначення положення значення, що спостерігається всередині розподілу даних. Він відповідає відсотку спостережень, що знаходяться нижче за певне значення. 95-й процентиль означає, що 95% елементів масиву є меншими або дорівнюють даному числу. Застосування таких статистичних методів обробки інформації для прогнозування зон, вразливих до накопичення нітратів в поверхневих і підземних водах, (прогнозованих значень 95-го процентиля концентрацій мінеральних сполук нітрогену) передбачене Методикою визначення зон, вразливих до (накопичення) нітратів (Наказ Міністерства захисту довкілля №244 від 15.04.2021 р.).

Щодо встановлення причини змін якості води у процесі експлуатації водозаборів, то ця проблема значно складніша. Такими причинами можуть бути [4,6]*:*

- Потужний експлуатаційний водовідбір, який спричиняє залучення підземних вод цільового горизонту на значній площі, в тому числі на тих його ділянках, де сформувалися підземні води нижчої якості, зокрема високомінералізовані. У такому випадку погіршення якості води у часі є практично неминучим.

- Вторгнення солоних поверхневих вод, передовсім морських, що можуть бути обумовлені як антропогенними, так і природними чинниками (водовідбором або штормовими нагонами, припливами) [8].

- Перетікання підземних вод із сусідніх із цільовим водоносних горизонтів, в тому числі з незахищених від поверхневого забруднення безнапірних водоносних горизонтів, переважно у четвертинних відкладах. У багатьох випадках саме цей процес відіграє провідну роль у змінах якості води на водозаборах, особливо на півдні та сході, в межах розміщення меліоративних систем. Обсяги додаткового живлення тут перевищують кількість природних атмосферних опадів у кілька разів. Таке значне збільшення інфільтраційної складової спричиняє винесення з четвертинних відкладів солей, утворених у природних умовах унаслідок інтенсивного випаровування. До цього додаються розчинення і перенесення у водних розчинах мінеральних добрив і засобів захисту рослин, які застосовуються у сільському господарстві. В той же час відзначається погіршення якості підземних вод за рахунок висхідної міграції природних глибинних некондиційних вод [11].

- Безпосереднє надходження полютантів від техногенних джерел забруднення: просторовий аналіз інформації щодо розміщення таких об'єктів та їхньої специфіки часто однозначно свідчить саме про таке походження гідрогеохімічних аномалій. Зокрема на сході України яскравим прикладом такого впливу є забруднення підземних вод сполуками азоту (джерело - накопичувач промислових відходів ВАТ «Фарбник» у м. Рубіжному), внаслідок чого був виведений з ладу водозабір Луганський-3; суттєво збільшився сухий залишок у воді водозабору Луганського патронного заводу - до 3,7 г/дм^3, а на водозаборі «Лісова дача» - до 9,0 г/дм^3 тощо. Більшість дослідників в Україні і за кордоном пов’язують погіршення якості води саме із забрудненням, що надходить безпосередньо від антропогенних джерел [1,3].

За даними ДНВП Геоінформ України [7], нині в Україні зафіксовано 191 площинний і 262 локальних осередків забруднення підземних вод. Найбільша кількість водозаборів, що працюють у складних умовах експлуатації, зосереджена в Донецькій – 32 водозабори (18%), Київській – 16 (9%), Черкаській – 16 (9%), Полтавській – 15 (9%) та Львівській – 12 (7%) областях із значним техногенним навантаженням. У тому ж джерелі вказано, що у 2020 р. спостерігався осередковий розвиток промислового забруднення підземних вод на територіях Луганської, Донецької, Дніпропетровської та Запорізької областей, а використання добрив і пестицидів призвело до погіршення якості підземних вод, що має менш інтенсивний, але регіональний характер (Херсонська, Миколаївська, Одеська, Полтавська області) [7].

- Значне зменшення водовідбору і відновлення рівнів води у неглибоких водоносних горизонтах, в результаті чого до процесів вилуговування залучається додаткова товща порід [6].

- Кліматичні зміни, що можуть обумовлювати зміни якісного складу води перших від поверхні напірних водоносних горизонтів як на водозаборах, так і поза їхнім впливом.

- Геохімічні процеси в зоні формування ресурсів підземних вод. Аналіз досвіду експлуатації численних водозаборів, розміщених у різних природно-антропогенних умовах, свідчить, що дуже часто спостерігається стабільне погіршення якості води, яке неможливо пов’язати із впливом певних антропогенних джерел забруднення або іншими переліченими вище причинами. Загалом ці причини можна визначити саме як геохімічні процеси, що відбуваються в зоні формування ресурсів підземних вод, передусім у техногенно зміненій зоні аерації. Природа цих процесів може бути різною.

Так, на Львівщині істотні зміни якості води в мергельно-крейдяній товщі у процесі експлуатації водозаборів є результатом встановлення під час експлуатаційного водовідбору нових балансових відносин масообміну між обсягами інфільтраційної води та розчинними солями в породах зони аерації, де відновлювальна обстановка змінилась на окислювальну; тут найсуттєвіші зміни якості проявляються локально, і найімовірніше

пов’язані з окисненням піриту, на який збагачена мергельно-крейдяна товща, особливо в зонах розломів, де його додаткові включення могли з’явитися у постседиментаційний період.

На Луганщині та Донеччині також фіксувалося погіршення якості води у крейдових колекторах, тут воно більш стійке і тривале, причому більшість проблемних водозаборів розташовані поза межами впливу будь-яких промислових чи сільськогосподарських об’єктів. Тут основне джерело надходження речовини до підземних вод (прошарки солей) сформоване в процесі осадконакопичення та подальшого перерозподілу речовини в межах депресійних лійок водозаборів. Інтенсивний винос солей у водоносні горизонти відбувається в результаті зниження рівня підземних вод внаслідок водовідбору. Рівень капілярної кайми в перекриваючих товщах знижується, випаровування практично припиняється, і відбувається зміна процесу сольового накопичення на процес вилуговування раніше накопичених в породах зони аерації солей, що призводить до суттєвого погіршення якості води [4].

Висновки. Для обґрунтованого визначення стійких і значних тенденцій змін якості підземних вод необхідна достатня тривалість спостережень, яка для кожного МПзВ визначається його реагуванням на антропогенний вплив. Погіршення якості води є найчастіше результатом спільної дії природних і антропогенних чинників. При цьому серед них гідродинамічний чинник є провідним і обумовлює суттєві зміни якості води. Для з’ясування причин погіршення якості води для кожного МПзВ необхідно виконувати аналіз режиму та обсягів водовідбору та їхній вплив на зміни якісних показників, а також враховувати особливості техногенного навантаження на геологічне середовище в зоні формування ресурсів підземних вод, речовинний склад водовмісних порід і суміжних компонентів довкілля тощо. Причини змін якості визначають можливість і доцільність реалізації заходів, спрямованих на подолання негативних тенденцій. У разі, якщо джерело надходження забруднювальних речовин є природним, можливі заходи з покращення якості води обмежуються лише регулюванням обсягів видобутку та водопідготовкою перед подаванням води споживачам.

Список використаних джерел:

1. Васнева О.В. (2013). Факторы формирования химического состава подземных вод Минской агломерации//Природ.ресурсы. Минск. 2. 30-41.

2. Директива Європейського Парламенту і Ради 2000/60/ЄС від 23 жовтня 2000 року про встановлення рамок заходів Співтовариства в галузі водної політики https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_962#Text

3. Кошлякова Т.О. (2011). Зміни хімічного складу питних підземних вод м. Києва в процесі експлуатації. Зб. наукових праць ІГН НАН України. 2011, 4. С. 88-93.

4. Люта, Н. Г., & Лютий, Г. Г. (2011). Геохімічні процеси в зоні аерації як фактор формування хімічного складу підземних вод ґрунтових і субґрунтових горизонтів. Збірник наукових праць УкрДГРІ, (1). С.104-116.

5. Порядок здійснення державного моніторингу вод. Затв. Постановою Кабінету міністрів України від 19. 09.2018 р. № 758.

6. Лютий Г.Г., Саніна І.В., Фактори погіршення якості підземних вод у процесі експлуатації водозаборів в Україні // Збірник Наукових праць, УкрДГРІ, № 1, 2011р., С. 91-103.

7. Стан підземних вод. Щорічник – Київ: Державна служба геології та надр України, ДНВП «Державний інформаційний геологічний фонд України», 2021. 124 с.

8. Юровский Ю.Г. (2006). Естественные интрузии морских вод. Збірн. наук. праць УкрДГРІ. 3. С.136-142.

9. Guidance Document No. 15 Guidance on Groundwater Monitoring https://circabc.europa.eu/sd/a/e409710d-f1c1-4672-9480-e2b9e93f30ad/Groundwater%20Monitoring%20Guidance%20Nov-2006_FINAL-2.pdf

10. Guidance Document No. 18 Guidance on Groundwater status and trend assessment https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/76543005-ce9e-4b3c-9191-3c3f97b90ab1

11. Levoniuk Serhii, Udalov Ihor (2022). Vulnerability assessment of drinking groundwater of buchak-kaniv aquifer under the conditions of quality composition long-term transformation. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (57), 17-27.

УДК 615.327.015.15:663.64.059](477.87)

ЗБЕРЕЖЕННЯ БІОЛОГІЧНОЇ АКТИВНОСТІ МІНЕРАЛЬНИХ ПРИРОДНИХ ВУГЛЕКИСЛИХ ВОД ПІД ЧАС ЇХ ТРАНСПОРТУВАННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ ЗА МЕЖАМИ РОДОВИЩА

Коєва Х.О., *доктор філософії (PhD), koeva84@gmail.com;*
Арабаджи М.В., *к. хім. н., amvmail1991@gmail.com;*
Державне некомерційне товариство «Український науково-дослідний інститут реабілітації та курортології Міністерства охорони здоров'я України», Одеса, Україна

Досліджено ефективність способу транспортування та зберігання вуглекислих мінеральних природних лікувальних вод у герметичних кегах із надлишковим тиском діоксиду вуглецю на прикладі води зі свердловини № 8-к(р) с. Поляна Мукачівського району Закарпатської області. Отримані результати свідчать про можливість їх безпечного транспортування та зберігання у герметичних кегах зі збереженням природного фізико-хімічного складу та мікробіологічного стану протягом встановленого терміну придатності – чотирьох тижнів. Запропонований спосіб розширює можливості використання мінеральних лікувальних вод за межами місць їх видобутку.

Ключові слова: вуглекислі води, біологічна активність, фізико-хімічний склад, мікробіологічний стан, термін придатності

PRESERVATION OF THE BIOLOGICAL ACTIVITY OF NATURAL MINERAL CARBONATED WATERS DURING THEIR TRANSPORT AND USE AWAY FROM THEIR SOURCE

Koieva K., *PhD, koeva84@gmail.com;*
Arabadzhy M., *Cand. Sci. (Chem.), amvmail1991@gmail.com;*
State Non-profit Enterprise «Ukrainian Research Institute of Rehabilitation and Balneology of the Ministry of Health of Ukraine», Odesa, Ukraine

The present study investigates the effectiveness of a method for the transport and storage of naturally occurring carbonated mineral medical waters in airtight kegs with excess carbon dioxide pressure. The investigation uses water from borehole № 8-k(r) in the village of Polyana, Mukachevo District, Zakarpattia Oblast, as a case study. The results obtained from this study demonstrate the feasibility of transporting and storing these waters safely in sealed kegs. This method ensures the preservation of their natural physico-chemical properties and microbiological status throughout the specified shelf life of four weeks. The proposed method broadens the scope for the use of mineral medical waters beyond their extraction sites.

Keywords: carbonated waters, biological activity, physico-chemical composition, microbiological status, shelf life

Вступ. Вуглекислі лікувальні мінеральні води широко використовуються у санаторно-курортній практиці в Україні. До найбільш відомих родовищ відносяться: Полянське, Голубинське, Плосківське, Шаянське, Драгівське, Квасівське та Буркутське, що знаходяться у Закарпатській області. Вуглекислі мінеральні води приурочені переважно до молодих складчастих зон, що тяжіють до глибинних розломів земної кори. Фізико-хімічний склад вуглекислих вод досить різноманітний та складний і залежить від природного складу підземних вод, що потрапили в зону збагачення вуглекислим газом.

Загальна мінералізація вуглекислих вод варіюється в широких межах. Поєднання високого вмісту вуглекислого газу, складного іонного складу та наявності специфічних біологічно-активних компонентів та сполук робить вуглекислі мінеральні природні води одними з найскладніших природних водних систем з точки зору гідрохімії, гідрогеології та бальнеології [1].

Багатокомпонентність фізико-хімічного складу вуглекислих мінеральних вод полягає не лише у великій кількості розчинених речовин, але й у їх динамічній хімічній рівновазі. Діоксид вуглецю взаємодіє з водою з утворенням вуглекислоти, яка бере участь у процесах дисоціації та формуванні гідрокарбонат- і карбонат-іонів.

Умови зберігання та транспортування мінеральних вод такого типу повинні максимально зберігати їх хімічну рівновагу, як запоруку стійкості природного фізико-хімічного складу і відповідно біологічної активності, що забезпечується запропонованим методом.

Географія мінеральних вод України представлена широко, але територіально води одного типу часто локалізовані. Існує необхідність урізноманітнити можливість використання мінеральних природних лікувальних вод різного типу у санаторно-курортній практиці за межами їх родовищ.

Відомим способом транспортування мінеральних природних лікувальних вод є застосування стаціонарних мінералопроводів для подачі води до бюветів санаторно-курортних закладів. Але такий метод неможливо застосовувати при великому віддалені родовища природного лікувального ресурсу від санаторно-курортного закладу [2].

Виходячи з наведеного було запропоновано технологію збереження природних властивостей вуглекислих мінеральних вод під час їх транспортування від місця видобутку до санаторно-курортного закладу шляхом застосування герметичних кегів.

Транспортування та зберігання мінеральних природних лікувальних вод у такий спосіб може бути використано у санаторно-курортній сфері для забезпечення споживачів мінеральною природною лікувальною водою безпосередньо з родовища із збереженням її природних властивостей.

Мінеральні природні лікувальні води прямо на місці видобутку розливали у спеціальні герметичні ємності – кеги, виготовлені з матеріалів, інертних до хімічних компонентів вод, після чого здійснювали їх герметизацію та сатурацію (насищення води) діоксидом вуглецю. Потім здійснювали їх транспортування до санаторно-курортного закладу, де вода подавалася споживачам через спеціальні розливні системи без порушення герметичності та була придатною до споживання впродовж чотирьох тижнів, що доведено практичними дослідженнями. Така технологія дозволяє мінімізувати контакт води зі зовнішнім середовищем, що гарантує максимальне збереження її природного стану.

Дослідження проведено за результатами моніторингу фізико-хімічних та мікробіологічних показників мінеральних природних лікувальних вод зі свердловини № 8-к(р) с Поляна Мукачівського району Закарпатської області, які характеризуються як вуглекислі борні гідрокарбонатні натрієві середньомінералізовані, слабокислі.

За результатами медико-біологічної оцінки зазначені води рекомендовані до використання у санаторно-курортній сфері як фасовані мінеральні природні води для внутрішнього використання (медичний (бальнеологічний) висновок № 253 від 17.10.2025 р).

Як критерії стабільності властивостей мінеральних природних лікувальних вод зі свердловини № 8-к(р) с Поляна Мукачівського району Закарпатської області для щомісячного контролю при зберіганні було обрано наступні показники: фізико-хімічні (органолептичні характеристики, значення показників pH та Eh, вміст гідрокарбонат-іонів, ортоборної кислоти, іонів заліза, діоксиду вуглецю) та мікробіологічні (загальне мікробне число (далі – ЗМЧ), кількість бактерій групи кишкових паличок, титр синьогнійної палички).

Результати моніторингу фізико-хімічних характеристик мінеральних природних лікувальних вод зі свердловини № 8-к(р) с Поляна Мукачівського району Закарпатської області впродовж шості тижнів зберігання показали, що показники, які контролювалися істотно не змінювались та відповідали вимогам ДСТУ 878-93 «Води мінеральні фасовані. Технічні умови» [3] (далі – ДСТУ 878-93). Спостерігалося зниження вмісту ортоборної кислоти, гідрокарбонат-іонів, іонів заліза та діоксиду вуглецю. Вміст гідрокарбонат-іонів знижувався від 5500,2 mg/L до 5453,0 mg/L, ортоборної кислоти – від 136,99 mg/L до 129,25 mg/L, іонів заліза – від 1,25 mg/L до 0,75 mg/L, діоксиду вуглецю – від 2200,63 mg/L до 1305,56 mg/L.

Санітарно-мікробіологічні характеристики мінеральних природних лікувальних вод зі свердловини № 8-к(р) с Поляна Мукачівського району Закарпатської області на всіх етапах дослідження залишалися задовільними (табл. 2). У процесі зберігання впродовж шості тижнів ні в одній з проб не відбувалося відхилення санітарно-мікробіологічних показників від норми (кількість бактерій групи кишкових паличок < 3, синьогнійну паличку не виявлено, ЗМЧ помірно зростало від 21 до 81 CFU/l). На сьомий тиждень досліджень було зафіксовано значення ЗМЧ – 118 CFU/l, що вище за допустиме нормативне значення (≤ 100 CFU/l). На цьому етапі дослідження з встановлення терміну придатності до споживання мінеральної природної лікувальної води зі свердловини № 8-к(р) с Поляна Мукачівського району Закарпатської області були припинені.

Таким чином, мінеральні природні лікувальні води зі свердловини № 8-к(р) с. Поляна Мукачівського району Закарпатської області, фасовані у кеги, які знаходилися під надлишковим тиском діоксиду вуглецю, відповідали за своїми фізико-хімічним складом та мікробіологічним станом вимогам ДСТУ 878-93 впродовж 6 тижнів зберігання, що відповідає терміну придатності 4 тижні (згідно п.п. 3.4.2. Наказу МОЗ України від 02.06.2003 р. № 243 [4]).

Використання запропонованої технології забезпечило збереження природного фізико-хімічного складу та мікробіологічного стану мінеральних природних лікувальних вуглекислих вод при їх транспортуванні та впродовж зберігання, підвищило ефективність логістики. Зазначена технологія транспортування та зберігання лікувальних мінеральних вуглекислих вод є ефективною за рахунок можливості максимально зберегти їх природні властивості та забезпечити високу якість при використанні за межами родовища.

Список використаних джерел:

1. Колесник Е. О. Мінеральні води України / Е. О. Колесник, К. Д. Бабов. – К.: Купріянова, 2005. – 576 с.

2. Технологічна інструкція з обробки та фасування мінеральних вод ТІ У 11.0-02012125-001:2025 [Електронний ресурс] / ДНТ «Український науково-дослідний інститут реабілітації та курортології МОЗ України». – Режим доступу: https://kurort.gov.ua/tehnologichna-instrukcziya-z-obrobky-ta-fasuvannya-mineralnyh-vod-ti-u-11-0-02012125-0012025/

3. Води мінеральні фасовані. Технічні умови: ДСТУ 878-93 [Чинний від 1995-01-01] – К.: Держспоживстандарт України, 1994. – 88 с. – (Державний стандарт України).

4. Про затвердження Порядку здійснення медико-біологічної оцінки якості та цінності природних лікувальних ресурсів, визначення методів їх використання: наказ МОЗ України № 243 від 02.06.2003. Офіційний вісник України. 2003 р., № 36, стор. 179, стаття 1970.

УДК 556.3

ШЛЯХИ УДОСКОНАЛЕННЯ НОРМАТИВНО-ПРАВОВОЇ БАЗИ В ЧАСТИНІ ЗАСТОСУВАННЯ ГЕОФІЗИЧНИХ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ СВЕРДЛОВИН ПІД ЧАС ГЕОЛОГІЧНОГО ВИВЧЕННЯ РОДОВИЩ ПІДЗЕМНИХ ВОД

Варюшкін М.А.*[1]*, *ORCID 0009-0003-0077-9296, geo@geosys.com.ua;*
Федосєєв П.С.*[1]*, *ORCID 0009-0006-1680-737X, info@geosys.com.ua;*
Нецький О.В.*[2]*, *ORCID 0000-0002-7451-8924, OleksiiNetskiy@gmail.com;*
1 – ТОВ «ГЕОЛОГІЧНІ СИСТЕМИ», Харків, Україна,
2 – Державна комісія України по запасах корисних копалин, Київ, Україна

У роботі розглядається проблематика достовірності геологічної інформації при проведенні геолого-економічної оцінки та переоцінки запасів підземних вод. Проаналізовано чинну нормативно-правову базу, що регламентує геологічне вивчення родовищ. Встановлено, що наявні нормативні вимоги щодо застосування методів геофізичних досліджень свердловин (ГДС) часто мають рекомендаційний характер або є застарілими. Показано, що на практиці, особливо при повторній оцінці давно діючих водозаборів, це призводить до використання виключно архівних паспортних даних без їхньої сучасної інструментальної верифікації.

Виділено ключові недоліки такого підходу: неможливість об’єктивного контролю реального технічного стану свердловин (цілісність обсадних колон, стан фільтрів, наявність затрубних перетоків) та ризик суттєвих похибок при розчленуванні розрізу й уточненні літології. З метою усунення цих недоліків запропоновано шляхи вдосконалення нормативних документів ДКЗ України. Обґрунтовано необхідність закріплення обов'язкового проведення комплексу ГДС для експлуатаційних гідрогеологічних свердловин (включаючи кавернометрію, профілеметрію, радіоактивний, електричний та акустичний каротаж, термометрію, резистивиметрію, витратометрію й відеокаротаж) як невід'ємного критерію достатності вивченості родовища для достовірної оцінки запасів підземних вод.

Ключові слова: підземні води, геолого-економічна оцінка, геофізичні дослідження свердловин, нормативно-правова база, технічний стан свердловин, літологія.

IMPROVING THE REGULATORY FRAMEWORK FOR THE APPLICATION OF BOREHOLE GEOPHYSICAL LOGGING IN GROUNDWATER EXPLORATION

Variushkin M.*[1]*, *ORCID 0009-0003-0077-9296, geo@geosys.com.ua;*
Fedosieiev P.*[2]*, *ORCID 0009-0006-1680-737X, info@geosys.com.ua;*
Netskyi O.*[2]*, *ORCID 0000-0002-7451-8924, OleksiiNetskiy@gmail.com;*
1 – GEOLOGICAL SYSTEMS LLC, Kharkiv, Ukraine
2 – State Commission of Ukraine on Mineral Resources, Kyiv, Ukraine

This paper addresses the issue of geological data reliability during the geological and economic evaluation and re-evaluation of groundwater reserves. The current regulatory framework governing the geological study of deposits is analyzed. It is established that existing regulatory requirements regarding the application of borehole geophysical logging methods are often advisory in nature or outdated. It is shown that in practice, particularly during the re-evaluation of long-operating wellfields, this leads to the exclusive use of archival well passport data without current instrumental verification.

The key shortcomings of this approach are highlighted: the inability to objectively monitor the actual technical condition of the wells (casing integrity, well screen condition, presence of annular cross-flows) and the risk of significant errors in stratigraphic subdivision and lithological refinement. To address these flaws, pathways for improving the regulatory documents of the State Commission of Ukraine on Mineral Resources are proposed. The necessity of mandating a comprehensive suite of borehole geophysical logging for production water wells (including caliper and profilometer logging, radioactive, electrical, and acoustic logging, thermometry, fluid resistivity logging, flowmetry and borehole video inspection) as an integral criterion of exploration sufficiency for the reliable evaluation of groundwater reserves is substantiated.

Keywords: groundwater, geological and economic evaluation, borehole geophysical logging, regulatory framework, well technical condition, lithology.

Вступ. Сучасний етап надрокористування в Україні характеризується тим, що переважна більшість робіт з геолого-економічної оцінки (ГЕО) експлуатаційних запасів питних і технічних підземних вод фактично є переоцінкою родовищ, розвіданих та

затверджених ще за радянських часів. Як наслідок, гідрогеологічні дослідження проводяться на водозаборах, де експлуатаційним свердловинам здебільшого понад 40 років. Цей фактор докорінно змінює пріоритети та підходи до вивчення таких об'єктів.

Якщо під час первинної розвідки головним завданням було визначення загальних гідрогеологічних параметрів водоносного горизонту, то сьогодні на перший план виходить необхідність встановлення фактичного технічного стану самих свердловин. За десятиліття експлуатації свердловини зазнають незворотних змін: сталеві обсадні колони руйнуються внаслідок корозії, виникають наскрізні свищі та затрубні перетоки, а фільтрові частини масово зазнають кольматації, хімічного обростання або механічного руйнування. Порушення цілісності колон створює пряму загрозу потрапляння некондиційних або забруднених вод з вищезалягаючих горизонтів, що призводить до незворотного погіршення хімічного складу вод експлуатаційного водоносного горизонту. За таких умов виникає критичне питання: чи здатна конкретна свердловина фізично забезпечити той дебіт та якість води, які були заявлені у її первинному паспорті?

Безумовно, визначення фактичної потужності водопритоку та фільтраційних параметрів горизонту є завданням дослідно-фільтраційних робіт (ДФР). Проте, проведення відкачок в аварійній свердловині із зруйнованим фільтром чи закольматованою привибійною зоною дасть хибні гідродинамічні параметри, які характеризуватимуть не водоносний горизонт, а ступінь деградації самої свердловини. Саме тому першочерговим та безальтернативним етапом польових робіт, що має передувати будь-яким гідродинамічним випробуванням, є проведення сучасного комплексу геофізичних досліджень свердловин (ГДС).

Тільки інструментальна верифікація за допомогою методів ГДС (кавернометрія, акустична цементометрія, дефектоскопія, відеокаротаж, резистивіметрія, витратометрія, термометрія, радіоактивний та електричний каротаж, тощо) дозволяє отримати об'єктивну картину щодо цілісності обсадних колон, цементації, стану фільтрових частин та реальної літологічної будови розрізу, яка часто була описана в паспортах з суттєвими похибками.

Незважаючи на очевидну необхідність такого підходу, чинна нормативно-правова база суттєво відстає від реалій сьогодення. Основним документом, що наразі регламентує підготовку звітних матеріалів, є «Інструкція про зміст, оформлення та порядок подання до Державної комісії України по запасах корисних копалин матеріалів геолого-економічної оцінки родовищ питних і технічних підземних вод», затверджена Наказом № 162 від 02.09.2003 р. Введена в дію у 2003 році, вона відображає підходи до розвідки та оцінки, які концептуально формувалися в епоху, коли значна частина свердловинного фонду була відносно новою або свердловини бурилися безпосередньо під час розвідувальних робіт.

Головний концептуальний недолік Інструкції в сучасних умовах – відсутність запобіжників проти використання застарілих архівних даних. Згідно з пунктом 4.1 Інструкції, у матеріалах геолого-економічної оцінки необхідно наводити всі дані, необхідні для перевірки підрахунку експлуатаційних запасів, техніко-економічного обґрунтування їхнього промислового значення та проектування водозабірних споруд. Проте документ не містить жорсткої вимоги щодо обов'язкової інструментальної верифікації фактичного стану багаторічних свердловин.

Аналіз вимог до структури звіту підтверджує цю прогалину:

- У розділі 5.5 (Методика розвідувальних гідрогеологічних робіт) вимагається наводити обґрунтування видів, обсягів і методики проведення геофізичних досліджень, а також описувати повноту використання їхніх результатів під час обробки даних розвідки.
- У розділі 5.18 (Графічні додатки) зазначено, що до звіту мають додаватися карти, плани, розрізи і графіки, що відбивають результати геофізичних досліджень.

Оскільки проведення комплексу ГДС подається через призму самостійного «обґрунтування доцільності», на практиці це часто призводить до того, що під приводом економії бюджету надрокористувачі відмовляються від застосування сучасних каротажних зондів, покладаючись виключно на архівні паспорти.

Якщо реальний стан зношення свердловин не зафіксовано методами ГДС, повністю нівелюється достовірність розділу 5.13 Інструкції (Техніко-економічне обґрунтування). Цей розділ вимагає точних розрахунків капітальних вкладень у промислове будівництво (у тому числі на водозабірні споруди), експлуатаційних витрат та загального рівня рентабельності на розрахунковий період експлуатації. Затвердження запасів за високими категоріями на базі аварійних свердловин створює фіктивну економічну модель, яка не враховує неминучих капітальних витрат на складний ремонт або буріння нових свердловин найближчими роками.

Таким чином, удосконалення нормативної бази шляхом закріплення обов'язковості проведення комплексу ГДС при переоцінці запасів є не просто технічним питанням, а фундаментальною умовою для забезпечення достовірності державного обліку підземних вод.

Метою дослідження є обґрунтування необхідності модернізації чинної нормативно-правової бази України у сфері надрокористування (зокрема, вимог ДКЗ) шляхом впровадження обов'язкового комплексу геофізичних досліджень свердловин (ГДС) як критичного критерію достовірності геологічної та техніко-економічної інформації при повторній оцінці (переоцінці) родовищ підземних вод.

Методи дослідження:

Для досягнення поставленої мети застосовано комплексний підхід, що включає:

1. Нормативно-правовий аналіз: критичний огляд положень «Інструкції про зміст, оформлення та порядок подання до ДКЗ матеріалів геолого-економічної оцінки родовищ питних і технічних підземних вод» (Наказ № 162 від 02.09.2003) на предмет їхньої відповідності сучасним реаліям стану фонду свердловин.
2. Порівняльний аналіз фактичних та архівних даних: узагальнення практичного досвіду роботи із сучасним свердловинним геофізичним обладнанням, що дозволило зіставити архівні паспорти експлуатаційних гідрогеологічних свердловин (віком понад 40 років) з їхнім реальним технічним станом та літологічним розрізом.
3. Методи свердловинної геофізики: систематизація методів ГДС, результативних в обсаджених експлуатаційних свердловинах, для включення їх до нормативних вимог. До комплексу віднесено:
   - *Гамма-каротаж (ГК)* – для верифікації глибини свердловини, літології та уточнення потужності водоносного горизонту через сталеві та пластикові обсадні колони.
   - *Відеокаротаж, кавернометрію та профілеметрію, а також акустичну цементометрію* – для прямої інструментальної фіксації технічного стану колон, наявності корозії, свищів, якості, та в цілому наявності, затрубної та міжтрубної цементації та цілісності фільтрових частин.
   - *Резистивіметрію та термометрію* – для виявлення затрубних перетоків та підтвердження герметичності стовбура (зокрема, термометрія дозволяє надійно фіксувати інтервали надходження вод з інших горизонтів за наявністю температурних аномалій у стовбурі).
   - Опціонально – *дефектоскопія*, а також *витратометрія* та *електричний каротаж* у свердловинах з відкритим стовбуром.
4. Економічне моделювання ризиків: оцінка впливу недостовірних даних про стан інфраструктури на розрахунок капітальних витрат у геолого-економічній моделі родовища.

Результати дослідження. За результатами проведеного аналізу пропонується внести конкретні доповнення до вимог Інструкції ДКЗ (Наказ № 162), усунувши прогалини щодо добровільності застосування ГДС.

- **Доповнення до Розділу 5.5 «Методика розвідувальних гідрогеологічних робіт»:** Пропонується законодавчо закріпити норму: *«При проведенні переоцінки експлуатаційних запасів підземних вод на водозаборах, свердловини яких перебувають в*

експлуатації або простої більше 15 років, використання архівних паспортних даних без їхньої сучасної інструментальної верифікації методами ГДС не допускається. Обов'язковим є проведення комплексу ГДС (гамма-каротаж, відеокаротаж, кавернометрія, акустична цементометрія, резистивіметрія, термометрія та витратометрія) для підтвердження літологічного розрізу та технічного стану свердловин. У свердловинах з відкритим стовбуром у інтервалі експлуатаційного горизонту додатково виконувати стандартний електричний каротаж».

- **Доповнення до Розділу 5.10 «Підрахунок експлуатаційних запасів підземних вод»:**

Заборонити віднесення до високих категорій (коди класу 111 та 121) тих запасів, що прив'язані до свердловин, аварійний стан або негерметичність яких підтверджено даними ГДС, без розробки проєкту їх ліквідації/ремонту.

- **Уточнення до Розділу 5.13 «Техніко-економічне обґрунтування...»:** Зобов'язати надрокористувачів при розрахунку *«капіталовкладень у промбудівництво (на водозабірні споруди)»* базуватися виключно на результатах сучасного технічного обстеження свердловин. Якщо ГДС фіксує невідворотну деградацію колони, до фінансової моделі розробки родовища обов'язково мають закладатися витрати на капітальний ремонт або додаткове буріння свердловин у межах розрахункового терміну експлуатації.

Наукова та практична новизна роботи полягає у зміні парадигми оцінки родовищ підземних вод: від суто *геолого-гідродинамічного* підходу до комплексного *геолого-інфраструктурного*. Вперше на рівні нормативних пропозицій обґрунтовано прямий, нерозривний зв'язок між фізичною деградацією підземної інфраструктури (яка об'єктивно фіксується лише каротажними зондами) та економічною категорійністю запасів підземних вод. Доведено, що в умовах старіння радянського фонду свердловин достовірність геолого-економічної оцінки родовища визначається не лише властивостями водоносного пласта, а й здатністю конкретної інженерної споруди безаварійно забезпечити вилучення цих запасів протягом наступних 20–25 років.

Висновки

1. Критичне старіння інфраструктури: В умовах, коли переважна більшість водозаборів експлуатується понад 40 років, використання виключно архівних паспортних даних при повторній геолого-економічній оцінці (переоцінці) є неприпустимим. Архівні дані більше не відображають реальний технічний стан обсадних колон, фільтрів та фактичну гідродинаміку свердловин.
2. Спотворення геологічних та економічних моделей: Ігнорування сучасного інструментального контролю призводить до хибної інтерпретації дослідно-фільтраційних відкачок, приховує наявність затрубних перетоків (що створює ризик неконтрольованої зміни хімічного складу) та формує фіктивну економічну рентабельність родовища. Без достовірних даних ГДС розрахунки капітальних та експлуатаційних витрат на подальшу розробку родовища є необґрунтованими.
3. Невідповідність нормативної бази сучасним викликам: Чинна «Інструкція про зміст, оформлення та порядок подання до ДКЗ матеріалів геолого-економічної оцінки родовищ питних і технічних підземних вод» (Наказ № 162 від 02.09.2003) концептуально застаріла в частині регламентації методів дослідження при переоцінці. Залишаючи проведення ГДС у статусі «рекомендованих» або «обґрунтованих за потребою», нормативна база дозволяє надрокористувачам економити на критично важливих дослідженнях на шкоду достовірності даних.
4. Необхідність обов'язкового комплексу ГДС: Для забезпечення достовірності державного обліку підземних вод необхідно терміново внести зміни до методичних вимог ДКЗ України. Проведення базового комплексу ГДС (відеокаротаж, гамма-каротаж, кавернометрія, акустична цементометрія, резистивіметрія, термометрія та витратометрія) в експлуатаційних свердловинах має стати безальтернативною та обов’язковою умовою

для прийняття матеріалів переоцінки та затвердження експлуатаційних запасів підземних вод.

5. Залежність категорійності від інфраструктури: Доведено необхідність впровадження геолого-інфраструктурного підходу, за якого запаси не можуть бути віднесені до високих промислових категорій (коди класу 111 та 121), якщо технічний стан прив'язаних до них свердловин (підтверджений ГДС) не здатен забезпечити безаварійний видобуток протягом розрахункового періоду експлуатації.

Список використаних джерел:

Наказ Державної комісії України по запасах корисних копалин «Про затвердження Інструкції про зміст, оформлення та порядок подання до Державної комісії України по запасах корисних копалин матеріалів геолого-економічної оцінки родовищ питних і технічних підземних вод» № 162. (2003). https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0811-03#Text

Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Класифікації запасів і ресурсів корисних копалин державного фонду надр» № 432. (2025). https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/432-97-п#Text

References

Nakaz Derzhavnoi komisii Ukrainy po zapasakh korysnykh kopalyn «Pro zatverdzhennia Instruktsii pro zmist, oformlennia ta poriadok podannia do Derzhavnoi komisii Ukrainy po zapasakh korysnykh kopalyn materialiv heoloho-ekonomichnoi otsinky rodovyshch pytnykh i tekhnichnykh pidzemnykh vod» № 162. (2003) [in Ukrainian]. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0811-03#Text

Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy «Pro zatverdzhennia Klasyfikatsii zapasiv i resursiv korysnykh kopalyn derzhavnoho fondu nadr» № 432. (2025) [in Ukrainian]. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/432-97-п#Text

УДК 553.04 : 553.7 (477.87)

ПРО ДЕЯКІ АСПЕКТИ ВИДОБУВАННЯ ТЕРМАЛЬНИХ МІНЕРАЛЬНИХ ВОД У ЗАКАРПАТТІ

Кондратюк Є., *k.yevhen14@gmail.com,*
Лещишин В., *geozakminvod@ukr.net,*
Чертков Ю., *chertbur@ukr.net,*
ТОВ "КВАРЦ", м. Моршин, м. Мукачево, Україна

Висвітлено аспекти вивчення та використання деяких родовищ термальних мінеральних вод у Закарпатті, питання термінології в законодавчих та методичних документах стосовно термальних і мінеральних вод, досвід сусідніх країн у вирішенні екологічних проблем.

ON CERTAIN ASPECTS OF THERMAL MINERAL WATER EXTRACTION IN TRANSCARPATHIA

Kondratiuk Ye., *k.yevhen14@gmail.com;*
Leshchyshyn V., *geozakminvod@ukr.net,*
Chertkov Yu., *chertbur@ukr.net;*
Kvarts Ltd., Morshyn, Ukraine

The study and utilization of certain thermal mineral water deposits in Transcarpathia are examined, alongside terminology issues in legislative and methodological documents regarding thermal and mineral waters, and the experience of neighboring countries in addressing environmental problems.

Вступ. Тепло підземних вод людство використовувало здавна, а в останні десятиліття в Європі наступив бум у його використанні. В Україні широке використання термальних вод спостерігається в Закарпатті, оскільки ця територія має значні запаси таких вод. Сьогодні цей регіон найпривабливіший для повноцінного відпочинку, оскільки володіє значними природно-рекреаційними ресурсами до яких з повним правом відносяться мінеральні термальні води. Термальні джерела цього регіону мають природну температуру, стабільний мінеральний склад і підходять для цілорічного використання. Крім того, на багатьох курортах здійснюється їх комплексне використання: оздоровче та теплоенергетичне. Тут наводиться характеристика деяких родовищ та проявів термальних мінеральних вод, використання яких в останні десятиріччя стало дуже популярним, що свідчить про їх значні потенціальні можливості.

Постановка проблеми. Використання термальних вод у лікувально-оздоровчих цілях в останні десятиріччя стрімко зростає, на що вказують наповненість оздоровниць такого типу У 2025 році обсяг сплачених податків у сфері туризму та оздоровлення зріс на 50,6 % у порівнянні з 2024 р. [1]. Важливо знати потенційні можливості забезпечення цих тенденцій природними ресурсами та оцінити їх можливі екологічні проблеми. З огляду на це, важливу роль відіграє вивчення взаємозв’язків між складними геологічними процесами формування підземних мінеральних вод і потенціалом їх застосування в курортній справі та бальнеології. Нерівномірний розподіл і складні умови залягання низки родовищ гідротермальних вод у Закарпатті створюють ризик їх вичерпання та негативного впливу на довкілля внаслідок інтенсивного використання для оздоровлення.

Отже, дослідження термальних мінеральних вод на Закарпаття є актуальним і важливим з огляду на потенціал розвитку рекреації та туризму, екологічної стійкості регіону.

Об’єктом дослідження є родовища мінеральних термальних води Чоп_Мукачівської та Солотвинської водоносних структур Закарпатського прогину.

Основною метою статті є показати деякі аспекти видобування термальних мінеральних вод, порівняти їх з сучасним станом у сусідніх країнах, оцінити перспективи розширення при дотриманні екологічних стандартів.

Історія досліджень. Згадки про дослідження мінеральних вод Закарпаття сягають 16-17 століття, в них іноді траплялися повідомлення про ями з гарячими водами. Такі ями

обладнували поблизу Виноградова, де пізніше виріс санаторій «Теплиця», є згадки про аналогічне в с. Косонь [2]. Загалом дослідження термальних вод мають незначну історію й мало висвітлювалися в періодичних та наукових публікаціях.

Термальні води як бальнеологічний ресурс фактично вперше розглядалися А. Бабинцем в його праці «Мінеральні та термальні води Радянських Карпат» [3]. В ній наведена геологічна будова та гідрогеотермічні умови території, відмічено зменшення геотермічного градієнту в північному напрямку, тобто до Карпатських структур; аналогічно зменшується від молодих неогенових відкладів до древніших; спостерігаються локальні аномалії пов'язані з зонами глибинних розломів та складчастих структур чи піднятих блоків. Виділено ряд перспективних площ і навіть оцінені перспективні запаси району Ужгород-Мукачево-Іршава-Берегове, в кількості більше 40 тис. $м^3$/добу на 30 років.

У 80-х роках ці прогнози були основою для постановки розвідувальних робіт на термальні води, які виконувалися переважно гідрогеологом Закарпатської геологорозвідувальної експедиції Жарніковою Р. С. Більшість висновків з цих досліджень наведено в колективній праці, яка вийшла в 2003 р. [4] з переліком основних виявлених ділянок термальних вод, частина з яких використовується. Наголошується, що основний критерій при бальнеологічній оцінці термальних вод є не їх температура, а особливості їх складу і властивостей, що надають водам певного лікувального значення. Коротко характеризується використання термальних вод для оздоровлення в сусідніх країнах (Словаччині, Угорщині, Румунії) та запропоновані деякі заходи їх використання.

Декілька праць вийшло в Інституті відновлюваної енергетики, що стосувалося зокрема Закарпаття, але вони переважно оцінювали геотермальні ресурси з позицій використання як енергетичних, зокрема в монографії [5]. У публікації [6, 7] детально розглядається геотермічні умови та енергетичний потенціал Берегівського родовища за даними його детальної розвідки. Рекомендовано бурити свердловини за 1,5-2,0 км від експлуатаційних, де прогнозовано кращі умови, хоча подальші дослідження цього не підтвердили.

Більшість наступних публікацій стосувалася використання термальних вод в індустрії оздоровлення та туризму [8, 9]. В останній досить детально наведені дані про термальні курорти Закарпаття, хімічні типи вод, типізація за температурою, проблеми з видобуванням та запропоновано правове регулювання та охорона їх ресурсів, наголошено що інтенсивне використання може призвести до виснаження родовищ та екологічних ризиків.

Автори пропонують створити національну програму збереження та раціонального використання термальних вод, запровадити гідрогеологічний моніторинг, бо на їх переконання, термальні води – стратегічний природний ресурс України, який має величезний потенціал для розвитку оздоровчого туризму, медичної реабілітації та курортного бізнесу, але потребує науково обґрунтованого управління та системного моніторингу.

З зарубіжних досліджень варто виділити статтю М. Деж про використання термальних вод у Словаччині та Польщі [10]. В ній, крім характеристики методів та способів видобування і використання, наголошуються головні екологічні проблеми видобування термальних вод у Словаччині, Угорщині та Польщі – це перевитрата ресурсів, забруднення мінералізованими стоками, теплове навантаження на річки, урбанізаційний тиск та недостатній контроль за видобутком. Усі три країни активно розвивають термальні курорти, що посилює екологічні ризики та потребує жорсткішого моніторингу [12].

Найповніша праця вийшла у 2018 р. [11], де викладено практично всі аспекти та проблеми використання ТВ у світі. Акцент зроблений на гідротермальних системах, які трактуються як енергетичні ресурси, що вимагають сталого управління ними, яке має бути спрямоване на оптимізацію відновлення енергії, а також на раціональне

управління водними ресурсами, оскільки геотермальна вода слугує як носієм енергії, так і цінною сировиною. Геотермальні води, залежно від їхніх гідрогеотермальних характеристик, літології порід, глибини утворення ресурсів і джерел водопостачання, можуть характеризуватися дуже різноманітними фізико-хімічними параметрами. Цей фактор значною мірою визначає технологію для їх видобутку та спосіб використання геотермальної води. Один з розділів праці присвячений бальнеологічним питанням, що безпосередньо стосується нашої публікації.

Аналіз розвитку геотермальних об'єктів базується на власних дослідженнях з оцінки експлуатаційних запасів, узагальнення та оброблення архівних та поточних публікацій.

Виявлення раніше невирішених аспектів проблеми. Використання термальних мінеральних вод переважно висвітлювалося з позицій оздоровлення, оскільки вони є оптимальними для туризму та рекреаційних цілей. За даними європейських дослідників [12] рекреаційні купальні та аквапарки фактично, це другий за поширеністю спосіб використання геотермальних водних ресурсів після опалення та виробництва енергії. Ними оцінюється, що 25% геотермальної води у світі використовується в купальнях та оздоровчих закладах завдяки її бальнеотерапевтичному потенціалу, хоча за даними [5] в Україні переважає використання геотермального тепла з метою холодо- і теплопостачання.

Аналіз взаємозв'язків між експлуатацією родовищ термальних мінеральних вод і екологічними процесами майже не висвітлювалися. Загалом в Україні немає чіткої класифікації мінеральних термальних вод, використовується ділення підземних вод по температурі, прийняте в гідрогеології: холодні до 20°С і термальні – вище 20°С [13]. Підземні теплоенергетичні води мають чітку градацію, закріплену в національному класифікаторі України - Класифікатор корисних копалин ДК 008:2007 [14] та в інструкції ДКЗ України [15]. Відповідно до цього затверджуються запаси родовищ теплоенергетичних підземних вод, а поняття родовища термальних мінеральних вод відсутнє. Хоча інструкція згадує, що «У багатьох випадках теплоенергетичні води є комплексною гідромінеральною сировиною і можуть використовуватись для вилучення з них корисних компонентів або як лікувальні мінеральні, …». В багатьох публікаціях [5-7] застосовується термін гідрогеотермальне родовище.

Тому можна погодитися з авторами [8, 9], що Класифікація геотермальних (термальних) вод проводилася без урахування їх використання в бальнеотерапії, курортній медицині та гідрогеології. Дослідження термальних мінеральних вод в Україні застаріло та потребує вдосконалення на сьогодні, хоча перспективні ресурси по Півдню України та Закарпаттю були підраховані ще в 1979 р. [7].

Виклад основного матеріалу.

Термальні води – це теплі та гарячі підземні води, що виходять на поверхню землі у вигляді джерел або видобуваються через свердловини. Загальноприйнятим за температурою є таке ділення:

з температурою 20-37°С - теплі або субтермальні,

з температурою 37-42° – гарячі або власне термальні (гомотермальні),

понад 42° – дуже гарячі або гіпертермальні.

Нижня межа віднесення вод до термальних у кожній країні є своя, але загалом вважається доцільним відносити до термальних вод, температура яких вища від середньої річної температури повітря даної місцевості. Тому в Угорщині це 35°С, в Чехії 25°С, а в скандинавських країнах 10-12°С [16]. До власне термальних відносять води, температура яких перевищує 37°С, тобто вища від максимальної середньорічної температури повітря на земній кулі і вища від нормальної температури людського тіла. Враховуючи останнє в бальнеології найефективніше використовувати води теплі та гарячі, для інших цілей доцільніше добувати дуже гарячі води.

Необхідно відмітити, що теплоенергетичні води мають дещо інше ділення: нижня межа гарячих вод від 35°С і до 70°С, це теплоенергетичні низькопотенційні [14].

Як уже відмічалося вище для бальнеології важливо не температура, а хімічний склад або певні властивості, тоді вода відноситься до мінеральних, а при певній температурі до теплих або термальних. Якщо дотримуватися класифікатора, то в назві таких вод спочатку має бути температурна властивість, за нею мінеральна складова: - теплі (термальні) мінеральні води.

А. Бабінцем та іншими науковцями виділені області поширення термальних вод, приурочених до платформних і складчастих районів, які мають певні особливості тектонічного розвитку. Стосовно генезису геотермальних площ, поширення набула класифікація Дж. МакНітта, який виділив 3 типи і 5 підтипів таких площ [16]. Закарпаття можна віднести до типу басейнів у складчастих зонах, хоча їх також доцільно віднести до тріщинно-жильних осередкових.

В Закарпатському прогині прояви термальних вод локалізовані в двох смугах: від Ужгорода до Берегово, друга від Мукачева до Хуста. Перша пов'язана з кремнистими аргілітами, туфами, вторинними вапняками баден-нижньосарматського віку, друга з ліпарито-дацитами новоселицької світи нижнього баденію. Основні родовища та прояви наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Основні дані по деяких родовищах термальних мінеральних вод

Родовище	Ділянка	Тип води	Мінералізація, г/дм^3	Температура, °С	Запаси, м^3/добу	№№ протоколу
Ужгородське	Комсомольська	Вуглекисла, кремнієва, ГН	1,3-2,3	24-27	118,8	ДКЗ СРСР від 10.06.1988 № 10440
Нижньо-солотвинське		Вуглекисла, кремнієва, борна, ГХН	8,5-13,5	30-40	65	ДКЗ України від 16.03. 2013 № 2895
Деренівське	Перша	Кремнієві, борні, ГН	2,0-3,5	38-42	120,0	ДКЗ України від 29.09.2010 № 2057
	Друга	Кремнієві, ГН	0,5-0,8	23	70,0	
Берегівське	УСБ «Закарпаття»	Вуглекислі, борні, ХН	17,0-22,0	55-62	550	ДКЗ України від 16.07.2020 № 5133
	Берегівська	Вуглекислі, борні, ХН	7,0-12,5	48-55	395	ДКЗ України від 16.07.2024 №
«Геолог»		ХН, кремнієві	3,1-3,2	38	155	ДКЗ України від 11.05.2015 № 4383
Чігосуг		Вуглекислі, борні, кремнієві	17-23	50-59	150	ДКЗ України від 9.06.2016 №3579
Велятинське		Хлоридні натрієві	40-58	82-102	190	ДКЗ України від 13.11.2001 № 631

Примітка: ХН-хлоридний натрієвий, ГХН – гідрокарбонатно-хлоридний натрієвий, ГН – гідрокарбонатний натрієвий

За фізико-хімічними характеристиками мінеральні води родовищ переважно хлоридні або гідрокабонатні натрієві, кремнієві, борні, інколи слабко вуглекислі. Мінералізація їх змінюється від прісних до солоних і розсолів. Склад води родовищ визначається такою формулою:

Нижньосолотвинського:

$$CO_2 0.5-0.8 H_2SiO_3 0.11-0.18 H_3BO_3 0.045-0.14 M 8,5-12,8 \frac{Cl 80-86 HCO_3 14-20}{(Na+K)85-88 Ca 6-8} T 36-42$$

Деренівського:

$$H_2SiO_3 0.17-0.21 H_3BO_3 0.04-0.05 M 2,0-3,5 \frac{HCO_3 89-94 Cl 6-11}{(Na+K)89-92 Ca 5-7} T 38-42$$

Берегівського, св. №15-Т, №15-Т/Д:

$$CO_2 0.55-1.2 H_3BO_3 0.039-0,14 M 7,0-11,9 \frac{Cl 71-81 HCO_3 14-19}{(Na+K)90-94 Ca 4-5} pH 6,1-6,75 T 48-55°C$$

Велятинського:

$$M 2,0-102,0 \frac{Cl 96 HCO_3 3-4}{(Na+K)99} T 40-58$$

За результатами клінічних досліджень для цих родовищ розроблені медичні (бальнеологічні) висновки, де наведені медичні покази щодо застосування. Загалом води є лікувальними, кондиційними при використанні в лікувальній практиці при зовнішньому застосуванні. Деякі води з малою мінералізацією можуть використовуватися як питні при отримані відповідного висновку.

Екологічні проблеми при видобуванні термальних вод.

Існує два способи видобування термальних підземних вод: фонтанний і насосний, а також видобування проводиться з підтримкою пластового тиску (зворотною закачкою відпрацьованого природного теплоносія) або без неї.

Найпоширенішим і екологічно безпечним є метод створення геотермальної циркуляційної системи. Це вважається найбільш екологічним, але це не означає що при цьому не виникають питання екології.

Оскільки за даними державного моніторингу в пункті спостережень на кордоні з Угорщиною (https://geoportal.davr.gov.ua/#swbStanXSidebar) для р. Тиси масив поверхневих вод не належить до істотно змінених, то екологічні питання проаналізуємо за даними найближчих сусідів [10-12].

Головні екологічні проблеми видобування термальних вод у Словаччині, Угорщині та Польщі – це перевитрата ресурсів, забруднення мінералізованими стоками, теплове навантаження на річки, урбанізаційний тиск та недостатній контроль за видобутком. Усі три країни активно розвивають термальні курорти, що посилює екологічні ризики та потребує жорсткішого моніторингу.

Для Словаччини, через високу концентрацію термальних курортів і відповідно великий туристичний потік, як у Берегово та Косино, основні проблеми стосуються теплового забруднення річок і утилізації мінералізованих стоків, що викликає зниження температури води, падіння рівнів, локальні зміни екосистем. Для Угорщини до цього додається інтенсивне буріння, що приводить до виснаження водоносних горизонтів, забруднення стоками і зміною хімічного складу води. Для Польщі найбільш характерно недостатній контроль за відбором внаслідок стрімкого розвитку термальних басейнів, що породжує локальні екологічні конфлікти.

Закарпаття має шанс розвинути термальні ресурси без екологічних втрат, якщо врахує досвід Словаччини, Угорщини та Польщі: контроль відбору, очищення стоків, реін'єкція, моніторинг і обмеження урбанізації.

Якщо цього не зробити – регіон зіткнеться з тими ж проблемами: виснаженням вод, зміною їхнього складу, тепловим забрудненням та деградацією ландшафтів.

Список використаних джерел:

1. Публічний звіт Голови Державного агентства розвитку туризму України за 2025 рік (2025) https://www.tourism.gov.ua/plans-and-report

2. Від лікувальних ям до сучасних лікувально-санаторних комплексів. https://rionews.com.ua/newspaper/socio/now/n1924919022

3. Бабинец А.Е. (1978). Минеральные и термальные воды Советских Карпат. / Бабинец А.Е., Марус В.И., Койнов И.М. – К.: Наук. думка,. - 160 с.

4. Lemko, I. S., Kyrtych, L. P., Zharnikova, R. S., & Fekyyshhazi, B. M. (2003). Termalni mineralni vody Zakarpattya [Thermal mineral waters of Transcarpathia]. Медична гідрологія та реабілітація. (2), 91-95.

5. Видобування і використання геотермальних ресурсів України: мо нографія / Ю. П. Морозов, А. А. Барило, С. В. Дубовський, Д. М. Чалаєв. – Київ: ІВЕ, 2024. – 132 с.

6. Барило А.А. Дослідження свердловинних термограм Берегівського гідротермального родовища. Відновлювана енергетика. № 4. 2017. С.75-83

7. Барило А.А., Морозов Ю. П. Оцінка енергетичного потенціалу окремих геотермальних родовищ України. Відновлювана енергетика. № 1. 2017. С.70-77

8. Ханас, У., & Попик, М. (2024). Термальні мінеральні води як одна з домінант туристично-рекреаційних ресурсів Закарпаття. Економіка та суспільство, (62). https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-62-54

9. Гладкий, О., Жученко, В. (2026). Термальні води України: потенціал використання в оздоровчому туризмі та курортному бізнесі. Індустрія туризму і гостинності в Центральній та Східній Європі, (15), 32-38. https://doi.org/10.32782/tourismhospcee-15-4

10. Dej et al., 2014 M. Dej, M. Huculak, W. Jarczewski. Recreational use of geothermal water in Poland and Slovakia. Curr Issues Tour. Res., 3 (1) (2014), pp. 12-21 http://citr.up.krakow.pl/article/viewFile/1375/1182

11. Bundschuh, J., Tomaszewska, B. (2017). Geothermal water management (1st Edition). CRC Press. https://doi.org/https://doi.org/10.1201/9781315734972

12. Bundschuh, J., & Tomaszewska, B. (2017). Geothermal water management (1st Edition). CRC Press. https://doi.org/https://doi.org/10.1201/9781315734972

13. Руденко Ф. А. Підземні води, їх походження та значення в народному господарстві. К, товариство «Знання» Української РСР, 1979, 48 с. https://geoknigi.com/book_view.php?id=551

14. Національний класифікатор України - Класифікатор корисних копалин (ККК) ДК 008:2007. Чинний від 01.08.2008 р. (Держспоживстандарт України)

15. Інструкція із застосування Класифікації запасів і ресурсів корисних копалин державного фонду надр до родовищ теплоенергетичних підземних вод. Затверджено наказом ДКЗ України 07.06.2007 №182.

16. Флерова Л.И., Маринов Н.А. Минеральные и термальные воды // Гидрогеологические исследования за рубежем, М.: Недра, 1982. С.145-187.

УДК 556.3:556.55(477.7)

ГІДРОГЕОЛОГІЧНІ УМОВИ В РАЙОНІ ВПЛИВУ КОЛИШНЬОГО КАХОВСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА

Гаврилюк Р.Б., *к. геол. н., ст. дослідник, https://orcid.org/0000-0002-6465-9440, gavrilyuk.ruslan@gmail.com*
Колябіна І.Л., *к. геол. н., ст. дослідник, https://orcid.org/0000-0002-6120-4491, kolira_igns@i.ua;*
Логвиненко О.І., *https://orcid.org/0000-0001-8193-4144, lohvynenko.olha@gmail.com,*
Негода Ю.О., *https://orcid.org/0000-0002-7708-0040, ynegoda2008@gmail.com*
Інститут геологічних наук Національної академії наук України, м. Київ, Україна

Вперше встановлено та охарактеризовано основні водоносні горизонти в районі зруйнованого Каховського водосховища. Визначено їх поширення в межах південної частини суббасейну Нижнього Дніпра. Проаналізовано якісні параметри підземних вод та оцінено можливість їх практичного застосування. Визначені обсяги затверджених запасів підземних вод для семи водогосподарських ділянок та рівень їх використання станом на 2020 р. Встановлено просторовий розподіл розвіданих родовищ підземних вод. Результати досліджень розширюють можливості оцінки потенціалу видобування підземних вод для покриття дефіциту водогосподарського балансу басейну Нижнього Дніпра в умовах відсутності Каховського водосховища.

Ключові слова: Каховське водосховище, підземні води, водоносні горизонти, родовища

HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS IN THE AREA AFFECTED BY THE FORMER KAKHOVKA RESERVOIR

Havryliuk R., *PhD (Geol.), Senior Researcher, https://orcid.org/0000-0002-6465-9440, gavrilyuk.ruslan@gmail.com,*
Koliabina I., *PhD (Geol.), Senior Researcher, https://orcid.org/0000-0002-6120-4491, kolira_igns@i.ua;*
Lohvynenko O., *https://orcid.org/0000-0001-8193-4144, lohvynenko.olha@gmail.com;*
Negoda Iu., *https://orcid.org/0000-0002-7708-0040, ynegoda2008@gmail.com*
Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

The main aquifers in the area of the destroyed Kakhovka Reservoir have been identified and characterized. Their distribution within the southern part of the Lower Dnipro subbasin has been determined. The quality parameters of groundwater have been analyzed, and the potential for its practical application has been assessed. The volumes of approved groundwater reserves for seven water management areas and their utilization rates as of 2020 have been determined. The spatial distribution of explored groundwater deposits has been established. The research results expand the possibilities for assessing the potential of groundwater extraction to cover the water balance deficit in the Lower Dnipro Basin in the absence of the Kakhovka Reservoir.

Keywords: Kakhovka Reservoir, groundwater, aquifers, deposits.

Вступ. Підрив Каховської ГЕС російськими військами 6 червня 2023 р., що призвів до руйнування Каховського водосховища, став одним з найрезонансніших терористичних актів російської військової агресії проти України. Він призвів до масштабних соціальних, економічних та екологічних наслідків *(Vyshnevskyi et al., 2023; Shumilova et al., 2025; Nasiedkin et al., 2025)*. Руйнування водосховища порушило водний баланс регіону Нижнього Дніпра та створило значні ризики для водозабезпечення населення та економіки *(Vyshnevskyi & Shevchuk, S., 2024; O. Shumilova et al., 2025, Осадча та ін., 2025)*. Впливу від руйнування водосховища також зазнали геологічне середовище та підземні води, що проявилося у активізації небезпечних екзогенних геологічних процесів, перенесення седиментів, зміні рівнів та якісного стану перших від поверхні водоносних горизонтів тощо *(Shekhunova et al., 2023, Саніна & Люта, 2023; Бойко, 2024; Nasiedkin et al., 2024, Nasiedkin et al., 2025, Шевченко та ін., 2025)*.

В умовах відсутності Каховського водосховища, яке забезпечувало водопостачання значної частини півдня України, підземні води набули особливого стратегічного значення як джерело водопостачання, з урахуванням неможливості реалізації інфраструктурних об’єктів через триваючу збройну російську агресію та окупацію частини лівобережжя

пониззя Дніпра. У зв'язку з цим істотний інтерес представляє аналіз гідрогеологічних умов як в зоні впливу осушення колишнього водосховища, так і в більш широкому контексті – територій, що залежали від водопостачання з водосховища.

Мета та методи досліджень. Мета досліджень полягала у ревізії та систематизації наявної гідрогеологічної інформації для подальшого створення ГІС-інтегрованих моделей основних водоносних горизонтів у зоні впливу зруйнованого Каховського водосховища, визначення їх потенціалу для потреб водопостачання та уразливості до наслідків руйнування водосховища.

Для характеристики поширення та стану основних водоносних горизонтів та їх водогосподарського значення були проаналізовані гідрогеологічні карти масштабу 1 : 200 000, відомості державного балансу запасів корисних копалин (підземні питні і технічні води) станом на 01.01.2021 р., інші фондові та літературні джерела інформації щодо стану підземних вод території досліджень, в тому числі присвячені вивченню наслідків впливу руйнування Каховського водосховища на підземну гідросферу.

Для узагальнення картографічного матеріалу державних гідрогеологічних карт масштабу 1 : 200 000 та побудови ГІС-інтегрованих моделей основних водоносних горизонтів було застосовано картографічні методи з використанням ГІС-застосунків Global Mapper, QGIS. Аналіз якості підземних вод водозаборів проводився за даними державного балансу запасів корисних копалин (підземні питні та технічні води) станом на 01.01.2021 р.

Результати. В гідрогеологічному відношенні колишнє Каховське водосховище розташовувалося в межах двох гідрогеологічних регіонів першого порядку — гідрогеологічної області Українського щита (ГОУЩ) та Причорноморського артезіанського басейну (ПАБ). В адміністративному відношенні водосховище розміщувалося в межах Херсонської, Дніпропетровської та Запорізької областей, проте також використовувалося для покриття водогосподарських потреб сусідніх регіонів, зокрема Миколаївської обл. та Автономної Республіки Крим до її окупації. (рис. 1).

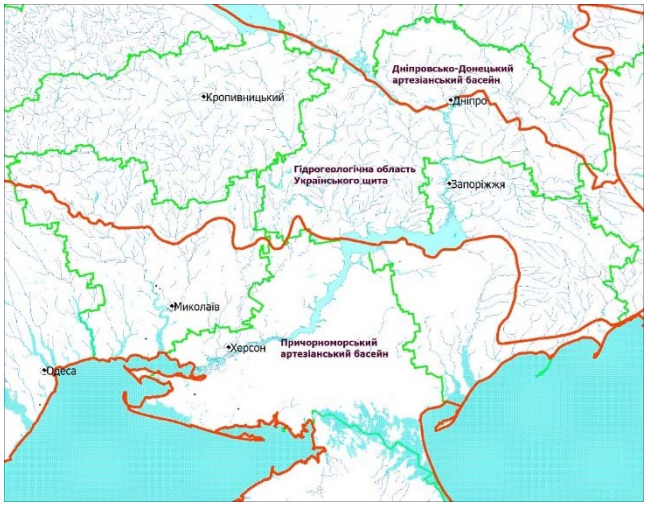


Рис. 1. Гідрогеологічні регіони першого порядку

Характерним для гідрогеологічних умов ГОУЩ є поширення підземних вод у зоні тріщинуватості кристалічних порід докембрійського фундаменту. Фільтраційні параметри цієї зони визначаються тріщинуватістю, вкрай нерівномірною як за площею, так і за глибиною, що обумовлює нерівномірне обводнення. Зони найбільшого обводнення пов'язані з мережею тектонічних порушень та розвитком у них процесів вивітрювання кристалічних порід. У сучасному рельєфі вони проявляються гідрографічною мережею, яка успадковує такі зони розущільнення фундаменту. Глибина поширення зон інтенсивної тріщинуватості часто не перевищує 20 м від поверхні кристалічних порід на вододілах і 50 м – у долинах річок та, як правило, становить 80–100 м від сучасної поверхні. Від осадового чохла тріщинувата зона відділена корою вивітрювання, яка визначає взаємозв'язок між водоносними системами обох структурних поверхів, але може

відігравати роль не лише водотриву, але й водоносного горизонту при певних умовах. Водоносність осадової товщі в межах ГОУЩ характеризується невитриманим поширенням водовміщуючих порід та водотривів, і лише в зонах тектонічних западин в рельєфі фундаменту формуються локальні гідрогеологічні структури, такі як Кінсько-Ялинська западина, яка має всі ознаки артезіанського басейну (Шестопалов та ін., 2019).

Від південного схилу Українського щита простягається ПАБ, який характеризується зростанням товщини осадового чохла та окремих його стратиграфічних комплексів у південному напрямку із зануренням фундаменту. Гідрогеологічні умови ПАБ характеризуються розмаїттям фільтраційних властивостей горизонтально залягаючих товщ водовміщуючих порід та водотривів. Це обумовлено фаціальною та літологічною мінливістю складу порід, що переважно формувалися в змінних умовах морського басейну. Як наслідок, у товщі неогенових відкладів на різних ділянках виділяються окремі водоносні горизонти для певних стратиграфічних одиниць чи їх сукупності або вони об'єднані у водоносні комплекси. Зона активного водообміну здебільшого простягається на глибину 100–200 м від поверхні та охоплює відклади від четвертинних до крейдових. Для підземних вод ПАБ характерна мінливість мінералізації вод, що призводить до досить широкого розвитку солонуватих і солоних вод. На окремих ділянках мінералізовані води приурочені навіть до самих молодих відкладів у той час, коли води горизонтів, що залягають нижче, відзначаються кращими показниками якості.

Ключовими викликами у виділенні водоносних горизонтів були відмінності їх виділення на різних листах гідрогеологічної карти масштабу 1 : 200 000, що видавалися у різні роки на різній стратиграфічній основі, а також неузгодженість меж сусідніх листів між собою (Логвиненко & Гаврилюк 2026). Було проведено ревізію виділених водоносних горизонтів, визначено перелік водоносних горизонтів з урахуванням сучасного стратиграфічного поділу та побудовано ГІС-інтегровані моделі в межах південної частини суббасейну Нижнього Дніпра (приклад на рис. 2).

В результаті в зоні впливу Каховського водосховища виділені такі водоносні горизонти і комплекси:

1. Водоносний горизонт у алювіальних відкладах плейстоцену і голоцену (aP–H).
2. Водоносний горизонт у відкладах верхнього пліоцену (N_2^2).
3. Водоносний горизонт у відкладах пліоцену (N_2).
4. Водоносний горизонт у відкладах понтичного регіоярусу міоцену (N_1p).
5. Водоносний комплекс у відкладах середньо- та верхньосарматського підрегіоярусів, меотичного та понтичного регіоярусів міоцену ($N_1s_{2+3}+m+p$).
6. Водоносний комплекс у відкладах середньо- та верхньосарматського підрегіоярусів міоцену (N_1s_{2+3}).
7. Водоносний комплекс у відкладах середнього міоцену та нижньосарматського регіоярусу міоцену ($N_1^2+N_1s$).
8. Водоносний комплекс у відкладах середнього міоцену (N_1^2).
9. Водоносний горизонт у відкладах міоцену (N_1).
10. Водоносний комплекс у відкладах нижнього міоцену (N_1^1).
11. Водоносний горизонт у відкладах олігоцену (P_3).
12. Водоносний горизонт у відкладах еоцену-олігоцену (P_{2-3}).
13. Водоносний горизонт у відкладах бучацької серії еоцену (P_2bc)
14. Водоносний горизонт у відкладах еоцену (P_2).
15. Водоносний комплекс у відкладах крейди (K).
16. Водоносний горизонт у зоні тріщинуватості нижньопротерозойських порід криворізької серії (PR_1kr).
17. Водоносний горизонт у зоні тріщинуватості кристалічних порід архею-нижнього протерозою (AR—PR_1).



Рис. 2. ГІС-інтегрована модель на прикладі водоносного комплексу у відкладах середньо-верхньосарматського підрегіоярусів, меотичного та понтичного регіоярусів міоцену ($N_1s_{2+3}+m+p$)

Побудовані моделі водоносних горизонтів підтвердили, що більшість із них має нерівномірне поширення. Враховуючи, що їхні фільтраційні параметри та показники якості підземних вод є мінливими, доцільним є проведення детального вивчення умов поширення кожного водоносного горизонту під час планування залучення для цілей водопостачання.

Усі виділені водоносні горизонти та комплекси мають підтверджене (на окремих ділянках) або потенційно важливе значення для водозабезпечення територій, що постраждали від знищення Каховського водосховища. Водночас аналіз розташування родовищ підземних вод із розвіданими запасами (рис. 3) засвідчує їх розтушування в межах південної частини суббасейну Нижнього Дніпра чотирма кластерами: в долині р. Дніпро поблизу нижньої частини колишнього Каховського водосховища, в районі м. Херсон, в районі Кінсько-Ялинської западини та північної частини Інгульського блоку Українського щита.

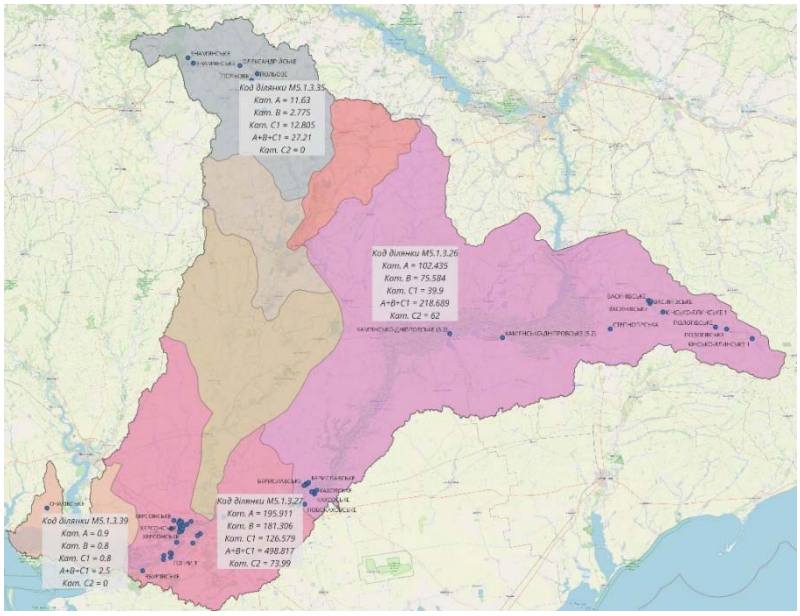


Рис. 3. Розподіл затверджених експлуатаційних запасів підземних вод за водогосподарськими ділянками

У перших двох випадках експлуатаційні запаси підземних вод зосереджені у неогеновій товщі, вони мають найбільші значення. Проте родовища, розташовані поблизу колишнього водосховища, безумовно втратять частину запасів через зниження рівнів підземних вод, живлення яких забезпечували фільтраційні втрати з водосховища. Основні родовища двох наступних кластерів приурочені до палеогенових пісків (Кінсько-Ялинська западина) та четвертинних та палеогенових пісків (в межах Інгульського блоку). В обох випадках також розвідані запаси підземних вод тріщинуватої зони кристалічних порід, проте сумарні обсяги розвіданих запасів тут значно менші, порівняно з родовищами в межах ПАБ.

Нерівномірність та низька розвіданість запасів підземних вод, серед іншого, обумовлені тривалою наявністю доступних ресурсів поверхневих вод Каховського водосховища, що виключали необхідність пошуково-розвідувальних робіт на підземні води. Водночас використання вже розвіданих та затверджених експлуатаційних запасів станом на 2020 р. знаходилося на рівні менше 6 %. Отже, більш ніж 94 % із сумарних запасів за всіма категоріями, обсяг яких становить 1635 тис. м³/добу, є першочерговим резервом для нарощування використання підземних вод. Звісно це стосується неокупованих територій та тих, де це дозволяє безпекова ситуація.

Територія, що залишилася неохопленою попередніми пошуково-розвідувальними гідрогеологічними роботами, залишається перспективною для пошуку підземних вод. Першочергові заходи можуть бути сплановані з урахуванням виділених контурів поширення водоносних горизонтів і комплексів, їхніх фільтраційних і якісних характеристик.

Висновки. Каховська трагедія спонукала до більшої уваги до підземних вод, використання яких для водопостачання вже зростає шляхом буріння нових експлуатаційних свердловин. Проведені дослідження дають ширше уявлення про потенціал підземних вод через виділення основних водоносних горизонтів та їх характеристику. Разом з результатами аналізу просторового розподілу розвіданих родовищ підземних вод, а також даних експлуатаційних запасів підземних по основним водоносним горизонтам, це дозволяє спрямувати подальші гідрогеологічні дослідження для вирішення водогосподарських викликів та змін у підземній гідросфері в умовах відсутності Каховського водосховища.

В умовах продовження російської військової агресії відновлення водопостачання за рахунок поверхневих вод Дніпра залишається неможливим, враховуючи, що лінія фронту проходить вздовж значної частини колишнього Каховського водосховища та нижньої течії р. Дніпро. Підземні води в таких умовах залишаються єдиною доступною альтернативою для вирішення водогосподарських проблем та забезпечення водної безпеки регіону. Пріоритетним напрямом використання підземних вод має бути покриття питних потреб місцевого населення. Можливість облаштування локальних підземних водозаборів, які не потребують масштабних чи протяжних інфраструктурних елементів має стати пріоритетним рішенням, так як вони є більш захищеними в умовах триваючої війни.

Основними викликами в частині використання підземних вод є їх доступність, кількісні та якісні показники. Результати проведених досліджень дають важливу інформацію про поширення основних водоносних горизонтів. Розвіданих родовищ підземних вод в районі зруйнованого водосховища обмежена кількість. До того ж вони розміщуються кластерами; на більшості території – відсутні, а частина родовищ в межах суббасейну Нижнього Дніпра знаходиться на тимчасово окупованій території. Проте поширення основних водоносних горизонтів на усій площі досліджень засвідчує потенційні можливості вирішення питань питного водопостачання. Хоча якісні та кількісні показники підземних вод не завжди задовільні, для покриття питних чи інших потреб, що не потребують значних обсягів води, підземні води можуть бути використані, при потребі – з попередньою водопідготовкою.

Подяки. Робота фінансувалась за механізмом державного замовлення, проєкт ДЗ/169-2025 «Вплив руйнування Каховської ГЕС та знищення Каховського водосховища на водогосподарський баланс басейну Дніпра».

Список використаних джерел:

Shekhunova S., Sanina I., Kril T., Syumar N. Kakhovska hydroelectric power plant dam explosion: impact on water resources and activation of hazardous exogenous geological processes. International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM, 2023, 23(3.2) DOI 10.5593/sgem2023V/3.2/s12.18

Shumilova O. *et al.*, Environmental effects of the Kakhovka Dam destruction by warfare in Ukraine. *Science* **387**, 1181-1186 (2025).DOI:10.1126/science.adn8655

Vyshnevskyi, V., & Shevchuk, S. (2024). The destruction of the Kakhovka dam and the future of the Kakhovske reservoir. *International Journal of Environmental Studies*, *81*(1), 275–288. https://doi.org/10.1080/00207233.2024.2320033

Vyshnevskyi, V., Shevchuk, S., Komorin, V., Oleynik, Y., & Gleick, P. (2023). The destruction of the Kakhovka dam and its consequences. *Water International*, *48*(5), 631–647. https://doi.org/10.1080/02508060.2023.2247679

Бойко К. (2024). Затоплено війною: Дослідження руйнування Каховської греблі та його наслідки для екосистеми, аграріїв, цивільного життя та міжнародного правосуддя. Додаток С Експертний аналіз шкоди заподіяної водним песурсам та елементам довкілля внаслідок прориву греблі Каховського гідровузла. Truth Hounds. 40 с. https://truth-hounds.org/wp-content/uploads/2024/06/zatopleno-vijnoyu-dodatok-c.pdf

Логвиненко, О.І., Гаврилюк, Р.Б. (2026). Ідентифікація основних водоносних горизонтів в районі зруйнованого Каховського водосховища. Збірник тез Міжнародної конференції «Тиждень геологічної науки», присвяченій 100-річчю Інституту геологічних наук, м. Київ, (18-22 травня 2026 року, м. Київ). Київ, 2026. с. 121. https://doi.org/gsw-2026-05-18-108

Насєдкін, Є. І., Гаврилюк, Р. Б., Балінський, В. М., & Федоренко, Л. В. (2025). Геоекологічні аспекти оцінки наслідків знищення Каховського водосховища. *Мінеральні ресурси України*, (3), 66–70. https://doi.org/10.31996/mru.2025.3.66-70

Осадча, Н., Осадчий, В., Набиванець, Ю., Гребінь, В., Шехунова, С., Афанасьєв, С., Осипов, В., Орещенко, А., Гаврилюк, Р., Летицька, О., Никифорук, О., Мацелюк, Є., Нікітенко, Н., & Писаренко, Л. (2025). Руйнування Каховської ГЕС: виклики для водного господарства, екологічні ризики та сценарії водозабезпечення. Матеріали міжнародної наукової конференції «Гідрометеорологія і кліматичні виклики: наука, інновації і практика для сталого майбутнього». https://doi.org/10.15407/conf_UHMI_HCC_2025.008

Саніна, І. В., & Люта, Н. Г. (2023). Екологічні наслідки підриву греблі Каховської ГЕС і шляхи вдосконалення водопостачання населення. *Мінеральні ресурси України*, (2), 50-55. https://doi.org/10.31996/mru.2023.2.50-55

Саніна, І. В., & Люта, Н. Г. (2024). Щодо забезпеченості експлуатаційними запасами питних підземних вод Дніпропетровської, Запорізької, Миколаївської та Херсонської областей. *Мінеральні ресурси України*, (3), 61-68. https://doi.org/10.31996/mru.2024.3.61-68

Шевченко О.Л., Твердий І.П., Орещенко А.В. (2025). Вирішення гідрогеологічних задач у контексті оцінки ресурсних втрат та доцільності відновлення Каховського водосховища. Метеорологія. Гідрологія. Моніторинг довкілля, 1(7), 43—58. https://doi.org/10.15407/meteorology2025.07.043

Шестопалов, В. М., Лютий, Г. Г., & Саніна, І. В. (2019). Сучасні підходи до гідрогеологічного районування України. *Мінеральні ресурси України*, (2), 3-12. https://doi.org/10.31996/mru.2019.2.3-12

References

Boiko, K. (2024). Flooded by War: A Study of the Destruction of the Kakhovka Dam and Its Consequences for the Ecosystem, Farmers, Civilian Life, and International Justice. Appendix C: Expert Analysis of Damage Caused to Water Resources and Environmental Elements as a Result of the Breach of the Kakhovka Hydroelectric Complex Dam. Truth Hounds. 40 p. https://truth-hounds.org/wp-content/uploads/2024/06/zatopleno-vijnoyu-dodatok-c.pdf [in Ukrainian]

Lohvinenko, O.I., Havryliuk, R.B. (2026). Identification of the main aquifers in the area of the destroyed Kakhovka Reservoir. Proceedings of the International Conference international conference "WEEK OF GEOLOGICAL SCIENCE" dedicated to the 100th anniversary of the Institute of Geological Sciences (May 18—22, 2026). Kyiv, 2026. p. 121. https://doi.org/gsw-2026-05-18-108 [in Ukrainian]

Nasiedkin, Ye., Havryliuk, R., Balinskyy, V., Fedorenko, L. (2025). Geoecological aspects of assessing the consequences of Kakhovka reservoir destruction. Mineral Resources of Ukraine, (3), 66—70. https://doi.org/10.31996/mru.2025.3.66-70 [in Ukrainian]

Oleksii Shevchenko, Ivan Tverdyi, Andrii Oreshchenko. (2025). Solving hydrogeological problems in the context of assessing resource losses and the feasibility of restoration of the Kakhovka reservoir. Meteorology. Hydrology. Environmental monitoring, 1(7), 43-58. https://doi.org/10.15407/meteorology2025.07.043 [in Ukrainian]

Osadcha N., Osadchyi V., Nabyvanets Yu., Hrebin V., Shekhunova S., Afanasiev S., Osypov V., Oreshchenko A., Havryliuk R., Letytska O., Nykyforuk O., Matseliuk Ye., Nikitenko N., Pysarenko L. (2025). Destruction of the Kakhovka HPP: challenges for water management, environmental risks, and water supply scenarios. Procedings of International Scientific Conference “Hydrometeorology and Climate Challenges: Science, Innovations and Practices for Sustainable Development”. https://doi.org/10.15407/conf_UHMI_HCC_2025.008 [in Ukrainian]

Sanina, I. V., & Lyuta, N. G. (2023). Environmental consequences of the Kakhovka hydroelectric power plant dam explosion and ways to improve water supply to the population. *Mineral Resources of Ukraine*, (2), 50–55. https://doi.org/10.31996/mru.2023.2.50-55 [in Ukrainian]

Sanina, I. V., & Lyuta, N. G. (2024). On the availability of operational reserves of drinking groundwater in Dnipropetrovska, Zaporizka, Mykolaivska and Khersonska regions. *Mineral Resources of Ukraine*, (3), 61–68. https://doi.org/10.31996/mru.2024.3.61-68 [in Ukrainian]

Shekhunova S., Sanina I., Kril T., Syumar N. Kakhovska hydroelectric power plant dam explosion: impact on water resources and activation of hazardous exogenous geological processes. International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM, 2023, 23(3.2) DOI 10.5593/sgem2023V/3.2/s12.18

Shestopalov, V. M., Lyutyi, G. G., & Sanina, I. V. (2019). Modern approaches to hydrogeological zoning of Ukraine. Mineral Resources of Ukraine, (2), 3–12. https://doi.org/10.31996/mru.2019.2.3-12 [in Ukrainian]

Shumilova O. *et al.*, Environmental effects of the Kakhovka Dam destruction by warfare in Ukraine. *Science* **387**, 1181-1186 (2025).DOI:10.1126/science.adn8655

Vyshnevskyi, V., & Shevchuk, S. (2024). The destruction of the Kakhovka dam and the future of the Kakhovske reservoir. *International Journal of Environmental Studies*, *81*(1), 275–288. https://doi.org/10.1080/00207233.2024.2320033

Vyshnevskyi, V., Shevchuk, S., Komorin, V., Oleynik, Y., & Gleick, P. (2023). The destruction of the Kakhovka dam and its consequences. *Water International*, *48*(5), 631–647. https://doi.org/10.1080/02508060.2023.2247679

УДК 556.3

МОДЕРНІЗАЦІЯ ПІДХОДІВ ДО РОЗРАХУНКУ ЗОН САНІТАРНОЇ ОХОРОНИ ПІДЗЕМНИХ ВОД: ВІД АНАЛІТИЧНИХ МЕТОДІВ ДО ГІДРОГЕОЛОГІЧНИХ МОДЕЛЕЙ

Дихман Є.М.[1], *ORCID 0009-0006-4729-946X, model@geosys.com.ua;*
Варюшкін М.А.[1], *ORCID 0009-0003-0077-9296, geo@geosys.com.ua;*
Негода Ю.О.[2], *ORCID 0000-0002-7708-0040, ynegoda2008@gmail.com;*
1 – ТОВ «ГЕОЛОГІЧНІ СИСТЕМИ», Харків, Україна,
2 – Інститут геологічних наук НАН України, Київ, Україна

Розглянуто проблему проєктування меж зон санітарної охорони (ЗСО) підземних водозаборів в Україні для гармонізації з європейськими стандартами. Встановлено, що традиційні аналітичні методи розрахунку (Орадовської, Лапшина) та моделі аналітичних елементів (WhAEM, GFLOW) є застарілими й обмеженими. Вони не здатні повноцінно врахувати складні гідрогеологічні умови, багатошарові напірні системи та взаємодію з поверхневими водами. Запропоновано перехід до чисельного гідрогеологічного 3D-моделювання за допомогою комплексу MODFLOW та модуля трекінгу часток MODPATH. Цей підхід дозволяє визначати фізично обґрунтовані межі ЗСО за реальним часом міграції забруднювачів, виконувати прогнозні розрахунки та інтегрувати результати в ГІС (QGIS, ArcGIS). Обґрунтовано необхідність оновлення нормативно-правової бази для впровадження моделювання як стандарту. Це дозволить уникнути ризиків забруднення водозаборів через заниження меж ЗСО та зайвих земельних обмежень через їх штучне розширення.

Ключові слова: підземні води, санітарна охорона, зони санітарної охорони, забруднення, нормативно-правова база, моделювання.

MODERNIZATION OF APPROACHES TO THE CALCULATION OF GROUNDWATER SANITARY PROTECTION ZONES: FROM ANALYTICAL METHODS TO HYDROGEOLOGICAL MODELS

Dykhman Y.[1], *ORCID 0009-0006-4729-946X, model@geosys.com.ua;*
Variushkin M.[1], *ORCID 0009-0003-0077-9296, geo@geosys.com.ua;*
Negoda I.[2], *ORCID 0000-0002-7708-0040, ynegoda2008@gmail.com;*
1 – GEOLOGICAL SYSTEMS LLC, Kharkiv, Ukraine
2 – Institute of Geological Sciences of the NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

The problem of designing the boundaries of sanitary protection zones (SPZ) for groundwater intakes in Ukraine is considered in terms of harmonization with European standards. It is established that traditional analytical calculation methods (Oradovska, Lapshyn) and analytic element models (WhAEM, GFLOW) are obsolete and limited. They cannot fully account for complex hydrogeological conditions, multilayer confined systems, and interaction with surface waters. A transition to numerical 3D hydrogeological modeling using the MODFLOW suite and the MODPATH particle tracking module is proposed. This approach allows determining physically justified SPZ boundaries based on the real migration time of pollutants, performing predictive simulations, and integrating results into GIS (QGIS, ArcGIS). The necessity of updating the regulatory framework to implement modeling as a standard is justified. This will prevent groundwater contamination risks from underestimated SPZ boundaries and unnecessary land restrictions from their artificial expansion.

Keywords: groundwater, sanitary protection, sanitary protection zones, contamination, regulatory framework, modeling.

Вступ. Вода є одним із найцінніших природних ресурсів, від якості та доступності якого залежить здоров’я населення, розвиток економіки та збереження навколишніх екосистем. В Україні, як і у багатьох інших країнах, захист водних об’єктів від забруднення та виснаження визначено як пріоритетне завдання державної політики. Одним із ключових інструментів забезпечення належної якості водних ресурсів є створення зон санітарної охорони (ЗСО) водних об’єктів.

Зони санітарної охорони – це спеціально визначені території навколо джерел питного водопостачання, які створюються з метою захисту цих джерел від будь-яких видів забруднення. Їхня основна мета полягає у гарантуванні безпеки води для питних та господарсько-побутових потреб, а також у збереженні екологічної рівноваги водних об'єктів. Належним чином спроєктовані ЗСО сприяють:

- забезпеченню якості води шляхом запобігання хімічному, біологічному та радіологічному забрудненню;
- збереженню біорізноманіття та надійному захисту вразливих водних екосистем;
- виконанню міжнародних стандартів, що допомагає Україні відповідати суворим нормам ЄС у сфері управління водними ресурсами.

Нормативно-правова база та структура ЗСО. В Україні порядок організації ЗСО регламентується Водним кодексом України, Законом України «Про питну воду, питне водопостачання та водовідведення» , постановою Кабінету Міністрів України № 2024, ДБН В.2.5-74:2013 та ДСанПіН 2.2.4-171-10. Відповідно до чинного законодавства виділяють три пояси санітарної охорони: пояс суворого режиму, пояс обмежень та пояс спостереження, для яких встановлюються різні режими господарської діяльності.

Комплексний процес створення ЗСО включає декілька етапів: польові еколого-гідрогеологічні дослідження (гідрогеологічна та екологічна характеристика водного об'єкта); проєктування (визначення меж поясів, режимів господарювання та необхідних заходів захисту); погодження та затвердження проєкту органами влади і санітарними службами; встановлення меж на місцевості.

Зони санітарної охорони є вкрай важливим механізмом захисту водних ресурсів України. Чітке законодавче регулювання створює необхідну основу для їхнього функціонування, але для успішного подолання сучасних екологічних викликів потрібні додаткові зусилля, включаючи належне фінансування, суворий контроль та підвищення загальної екологічної свідомості. Тільки такий комплексний підхід зможе гарантовано забезпечити населення якісною питною водою та зберегти водні екосистеми.

У Європейському Союзі нормативно-правове регулювання визначається Водною рамковою директивою (Directive 2000/60/EC) та оновленою Директивою про питну воду (Directive (EU) 2020/2184), які впроваджують ризик-орієнтований підхід до управління водозбірними басейнами. На практиці це реалізовано через трирівневу систему зон санітарного захисту. Перша зона (Zone I) забезпечує фізичний захист споруд водозабору; друга (Zone II) обмежується відрізком часу добігання води тривалістю 50 діб, що розраховано на природне відмирання патогенних мікроорганізмів; третя (Zone III) охоплює весь гідродинамічний басейн водозабору для відстеження стійких хімічних забруднювачів.

Сучасний світовий досвід також акцентує увагу на інтеграції даних про ЗСО у геоінформаційні системи (ГІС) та нормативні акти землекористування (zoning ordinances). Замість створення виключно формальних просторових обмежень, міжнародні стандарти вимагають проведення суцільної інвентаризації потенційних джерел забруднення (POTS - Potential Sources of Contamination), моніторингу якості підземних вод у режимі реального часу та розробки планів локалізації аварійних розливів токсичних речовин.

Мета досліджень. Метою даної роботи є обґрунтування необхідності модернізації підходів до розрахунку меж зон санітарної охорони підземних вод в Україні шляхом переходу від традиційних аналітичних методів до чисельного гідрогеологічного 3D-моделювання, а також ініціація розробки відповідних оновлень у нормативно-правовій базі ДКЗ та Держгеонадр.

Проблематика існуючих методів розрахунку. На сьогодні в Україні межі зон санітарної охорони здебільшого визначаються за аналітичними методиками (Орадовської, Лапшина та ін.), які ґрунтуються на спрощених припущеннях про однорідний ізотропний водоносний горизонт нескінченного поширення зі сталими фільтраційними властивостями та лінійним напрямком руху підземних вод.

Такі припущення істотно відрізняються від реальних гідрогеологічних умов. Просторова неоднорідність геологічної будови, анізотропія фільтраційних властивостей, взаємодія з поверхневими водами, робота груп водозабірних свердловин, вплив інших водозаборів, кар'єрів або дренажних систем призводять до складної конфігурації потоків підземних вод, яка не може бути адекватно описана аналітичними рішеннями.

Еволюція методів визначення зон санітарної охорони. Слід зазначити, що між традиційними аналітичними методами та сучасним чисельним гідрогеологічним моделюванням існує проміжний клас моделей, побудованих на методі аналітичних елементів (Analytic Element Method, AEM). Найбільш відомою реалізацією цього підходу є програмний комплекс WhAEM (Wellhead Analytic Element Model), розроблений Агентством з охорони навколишнього середовища США (U.S. EPA) для визначення зон захоплення підземних вод (Wellhead Protection Areas). Аналогічною, але трохи розширену функціональність має програма GFLOW (Groundwater Flow Analytic Element Model).

На відміну від класичних аналітичних формул, WhAEM не обмежується розрахунком радіуса або еліпса впливу водозабору. Модель описує фільтраційний потік за допомогою методу аналітичних елементів, який ґрунтується на принципі суперпозиції аналітичних розв'язків. Окремі елементи моделі представляють експлуатаційні свердловини, річки, області інфільтраційного живлення, гідрогеологічні межі та інші природні або техногенні об'єкти, що формують структуру потоку підземних вод.

Разом з тим WhAEM залишається двовимірною моделлю, побудованою на припущенні Дюпюї, відповідно до якого вертикальні складові руху підземних вод вважаються незначними порівняно з горизонтальними. Такий підхід забезпечує достатню точність для відносно однорідних безнапірних водоносних горизонтів, коли ширина зони захоплення значно перевищує насичену потужність пласта. Однак у складних багатошарових гідрогеологічних умовах, при наявності суттєвих вертикальних перетікань між водоносними горизонтами або при експлуатації напірних систем можливості цього підходу є обмеженими.

Саме тому сучасною тенденцією є використання повноцінних тривимірних моделей MODFLOW у поєднанні з модулем трасування MODPATH.

На відміну від моделей аналітичних елементів, вони дозволяють моделювати багатошарову геологічну будову, просторову неоднорідність та анізотропію фільтраційних властивостей, вертикальний водообмін між горизонтами, взаємодію з поверхневими водами, роботу груп водозаборів та змінний у часі режим експлуатації. Завдяки цьому межі зон санітарної охорони визначаються на основі фізично обґрунтованої тривимірної моделі руху підземних вод, що значно підвищує достовірність прогнозів.

Перевагою цих програм також; є те, що вони безкоштовні та стали своєрідним стандартом у гідрогеологічних дослідженнях, що пов’язані із математичним моделюванням. В табл. 1 наведені порівняльні характеристики різних підходів щодо обчислення ЗСО.

Таблиця 1

Переваги та обмеження різних методик щодо обчислення ЗСО

Характеристика	Спрощені методи	GFLOW	Повнофункціональні моделі (наприклад,
Реалістичність відображення гідрогеологічних умов	Низька (фіксовані радіуси, однорідний потік)	Середня / Висока (враховує довільні форми річок, геологічні межі та регіональне інфільтраційне живлення)	Дуже висока
Складність та вхідні дані	Мінімальні	Помірні (легше вчитися та керувати, ніж 3D-моделями)	Високі
Вартість та час	Найдешевші / найшвидші	Оптимальний баланс (дешевше і швидше за MODFLOW)	Найдорожчі та найтриваліші
Обмеження	Надмірне спрощення	Відсутність** 3D-елементів, мінливої позначки підошви пласта, декількох горизонтів та нестаціонарного режиму	Практично відсутні (підтримує складні 3D/нестаціонарні умови)

Сучасний підхід: моделювання в MODFLOW та MODPATH. Використання інструментів чисельного 3D-моделювання в програмі MODFLOW у безпосередньому поєднанні з модулем трасування частинок MODPATH дозволяє ефективно вирішити ці неточності, даючи змогу побудувати повністю фізично обґрунтовані межі зон санітарної охорони та точні ізохрони просування підземних вод.

Сутність запропонованого підходу полягає у використанні тривимірної чисельної гідрогеологічної моделі MODFLOW у поєднанні з модулем трасування частинок MODPATH. Після калібрування моделі на фільтрах експлуатаційних свердловин розміщується система умовних частинок, для яких виконується зворотне трасування (backward particle tracking) у напрямку, протилежному руху підземних вод. У процесі розрахунків визначаються положення частинок через нормативні проміжки часу: $T_2 = 200$ діб для другого поясу ЗСО (бактеріологічне забруднення) та $T_3 = 9125$ діб (25 років) для третього поясу (хімічне забруднення).

Отримані множини точок формують області живлення експлуатаційних свердловин, зовнішня огинаюча яких визначає межі відповідних поясів зон санітарної охорони. На відміну від традиційних аналітичних методів, такий підхід враховує реальну геологічну будову, неоднорідність і анізотропію водоносних горизонтів, взаємодію з поверхневими водами та вплив сусідніх водозаборів. Результати моделювання легко експортуються до QGIS або ArcGIS, де виконуються побудова полігонів ЗСО, їх просторовий аналіз та прив'язка до кадастрових карт і потенційних джерел забруднення.

Особливо важливою перевагою такого підходу є можливість оцінки часу міграції потенційних забруднювачів до експлуатаційних свердловин. Саме час транспортування, а не лише геометрична відстань, визначає конфігурацію зон санітарної охорони. У результаті межі ЗСО набувають складної просторової форми, яка відповідає реальній структурі потоку підземних вод, а не спрощеним геометричним фігурам, що отримуються аналітичними методами.

Використання чисельного моделювання також дозволяє виконувати багатоваріантні прогнозні розрахунки для різних сценаріїв експлуатації водозабору, зміни кліматичних умов, скорочення або збільшення інфільтраційного живлення, введення нових свердловин, ліквідації існуючих водозаборів чи появи нових потенційних джерел забруднення. Таким чином, моделі стають не лише інструментом одноразового визначення меж ЗСО, а й ефективною системою підтримки управлінських рішень у сфері охорони підземних вод.

Запровадження аналогічного підходу в Україні дозволить гармонізувати національні методики із сучасними європейськими вимогами, підвищити наукову обґрунтованість проєктів зон санітарної охорони, забезпечити більш надійний захист джерел питного водопостачання та створити єдину сучасну нормативно-методичну базу, що відповідатиме міжнародним стандартам управління водними ресурсами.

Висновки. Наведене порівняння свідчить, що аналітичні методи залишаються придатними лише для попередніх оцінок або територій із простими гідрогеологічними умовами. Натомість чисельне гідрогеологічне моделювання забезпечує комплексний облік природних і техногенних чинників, дозволяє визначати реальні зони захоплення водозаборів, оцінювати час міграції потенційних забруднювачів та виконувати прогнозні сценарії зміни умов експлуатації. Саме тому використання комплексу MODFLOW–MODPATH сьогодні розглядається як найбільш науково обґрунтований підхід до визначення меж зон санітарної охорони підземних вод.

Зважаючи на викладене, пропонується модернізувати державний підхід до визначення меж ЗСО, для сприяння використанню сучасних методів гідрогеологічного моделювання. Відповідні зміни необхідно ініціювати та внести до діючих нормативно-правових актів і методичних вказівок Держгеонадр та ДКЗ, що регламентують порядок розрахунку та затвердження ЗСО. Використання сучасних методів дозволить раз і назавжди уникнути як небезпечного заниження розрахункових меж ЗСО (що створює прямий ризик забруднення

джерела питного водопостачання), так і їх необґрунтованого штучного розширення (що накладає на надрокористувачів і землевласників зайві економічні та земельні обмеження).

Список використаних джерел:

Верховна Рада України. (2026a). *Водний кодекс України: Кодекс України № 213/95-ВР*. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-vr#Text

Верховна Рада України. (2026b). *Про питну воду, питне водопостачання та водовідведення: Закон України № 2918-III*. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2918-14#Text

Кабінет Міністрів України. (2020). *Про правовий режим зон санітарної охорони водних об'єктів: Постанова № 2024*. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2024-98-p#Text

Міністерство охорони здоров'я України. (2025). *Про затвердження Державних санітарних норм та правил "Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною" (ДСанПіН 2.2.4-171-10): Наказ № 400*. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text

Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches. (2006). *DVGW Technical Rule W 101: Drinking water protection zones for groundwater*. DVGW Rulework. https://www.dvgw.de/

European Parliament and Council of the European Union. (2000). *Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy*. http://data.europa.eu/eli/dir/2000/60/oj

European Parliament and Council of the European Union. (2020). *Directive (EU) 2020/2184 of the European Parliament and of the Council of 16 December 2020 on the quality of water intended for human consumption (recast)*. http://data.europa.eu/eli/dir/2020/2184/oj

Haitjema, H. M. (1995). *Analytic element modeling of groundwater flow*. Academic Press.

Haitjema, H., & Kelson, V. (n.d.). *GFLOW: Groundwater flow analytic element model*. U.S. Environmental Protection Agency. https://www.epa.gov/hydrowq/gflow-groundwater-flow-analytic-element-model

Harbaugh, A. W. (2005). *MODFLOW-2005: The U.S. Geological Survey modular ground-water model—The ground-water flow process* (Techniques and Methods 6-A16). U.S. Geological Survey. https://doi.org/10.3133/tm6A16

Kraemer, S. R., & Haitjema, H. M. (2018). *Working with WhAEM demonstration of capture zone delineation for a city wellfield in a valley fill glacial outwash aquifer for wellhead protection* (EPA/600/B-18/089). U.S. Environmental Protection Agency. https://www.epa.gov/hydrowq/wellhead-analytic-element-model-whaem

Oradovskaia, A. E., & Lapshyn, N. N. (1987). *Sanytarnaia okhrana vodozaborov podzemnykh vod* [Sanitary protection of groundwater intakes]. Nedra.

Pollock, D. W. (2016). *User guide for MODPATH version 7—A particle-tracking model for MODFLOW* (Open-File Report 2016-1086). U.S. Geological Survey. https://doi.org/10.3133/ofr20161086

Schmoll, O. (2006). *Protecting ground water for health: Managing the quality of drinking-water sources*. World Health Organization.

References

Cabinet of Ministers of Ukraine. (2020). *On the legal regime of sanitary protection zones for water bodies: Resolution No. 2024*. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2024-98-p#Text [in Ukrainian].

Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches. (2006). *DVGW Technical Rule W 101: Drinking water protection zones for groundwater*. DVGW Rulework. https://www.dvgw.de/ [in English].

European Parliament and Council of the European Union. (2000). *Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy*. http://data.europa.eu/eli/dir/2000/60/oj [in English].

European Parliament and Council of the European Union. (2020). *Directive (EU) 2020/2184 of the European Parliament and of the Council of 16 December 2020 on the quality of water intended for human consumption (recast)*. http://data.europa.eu/eli/dir/2020/2184/oj [in English].

Haitjema, H. M. (1995). *Analytic element modeling of groundwater flow*. Academic Press. [in English].

Haitjema, H., & Kelson, V. (n.d.). *GFLOW: Groundwater flow analytic element model*. U.S. Environmental Protection Agency. https://www.epa.gov/hydrowq/gflow-groundwater-flow-analytic-element-model [in English].

Harbaugh, A. W. (2005). *MODFLOW-2005: The U.S. Geological Survey modular ground-water model—The ground-water flow process* (Techniques and Methods 6-A16). U.S. Geological Survey. https://doi.org/10.3133/tm6A16 [in English].

Kraemer, S. R., & Haitjema, H. M. (2018). *Working with WhAEM demonstration of capture zone delineation for a city wellfield in a valley fill glacial outwash aquifer for wellhead protection* (EPA/600/B-18/089). U.S. Environmental Protection Agency. https://www.epa.gov/hydrowq/wellhead-analytic-element-model-whaem [in English].

Ministry of Health of Ukraine. (2025). *On approval of State sanitary norms and rules "Hygienic requirements for drinking water intended for human consumption" (DSanPiN 2.2.4-171-10): Order No. 400*. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text [in Ukrainian].

Oradovskaya, A. E., & Lapshin, N. N. (1987). *Sanitarnaia okhrana vodozaborov podzemnykh vod* [Sanitary protection of groundwater intakes]. Nedra. [in Russian].

Pollock, D. W. (2016). *User guide for MODPATH version 7—A particle-tracking model for MODFLOW* (Open-File Report 2016-1086). U.S. Geological Survey. https://doi.org/10.3133/ofr20161086 [in English].

Schmoll, O. (2006). *Protecting ground water for health: Managing the quality of drinking-water sources*. World Health Organization. [in English].

Verkhovna Rada of Ukraine. (2026a). *Water Code of Ukraine: Code of Ukraine No. 213/95-VR*. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-vr#Text [in Ukrainian].

Verkhovna Rada of Ukraine. (2026b). *On drinking water, drinking water supply and wastewater disposal: Law of Ukraine No. 2918-III*. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2918-14#Text [in Ukrainian].

УДК 556.3:539.1

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ІЗОТОПНОЇ ГІДРОЛОГІЇ ДЛЯ ОЦІНКИ РЕСУРСІВ, УМОВ ФОРМУВАННЯ ТА ЗАХИЩЕНОСТІ ПІДЗЕМНИХ ВОД УКРАЇНИ

***Дядін Д.В.**, к. техн. н., ORCID ID 0000-0003-3421-3592, dmytro.diadin@igim.org.ua,*
Інститут водних проблем і меліорації Національної академії аграрних наук України, Київ, Україна

Розглянуто перспективи застосування методів ізотопної гідрології для оцінки стану, умов формування, відновлюваності та природної захищеності основних експлуатаційних водоносних горизонтів і комплексів України. Показано можливості використання стабільних ізотопів водню і кисню (δ^2H, δ^{18}O) для встановлення джерел і сезонності живлення, процесів змішування та гідравлічних зв'язків між поверхневими і підземними водами. Розглянуто застосування 3H/3He та хлорфторвуглеців (CFC) для оцінювання видимого віку молодих підземних вод, інтенсивності водообміну та частки сучасного живлення. Як перспективний об'єкт для таких досліджень наведено багатоповерхову систему водоносних горизонтів Дніпровсько-Донецького артезіанського басейну. Окремо розглянуто можливості використання ізотопних даних для уточнення природної захищеності водоносних горизонтів та ідентифікації джерел нітратного забруднення. Обґрунтовано доцільність інтеграції ізотопних методів із гідрогеологічними, гідрохімічними та геоінформаційними дослідженнями при оцінюванні експлуатаційних ресурсів підземних вод.

Ключові слова: ізотопна гідрологія, підземні води, водоносний горизонт, δ^{18}O, δ^2H, ^{3}H/^{3}He, CFC, живлення підземних вод, відновлюваність ресурсів, природна захищеність

PROSPECTS FOR APPLYING ISOTOPE HYDROLOGY METHODS TO ASSESS GROUNDWATER RESOURCES, FORMATION CONDITIONS AND AQUIFER PROTECTION IN UKRAINE

***Diadin D.**, Cand. Sci. (Tech), ORCID ID 0000-0003-3421-3592, dmytro.diadin@igim.org.ua,*
Institute of Water Problems and Land Reclamation of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

The prospects for applying isotope hydrology methods to assess the status, formation conditions, renewability and natural protection of the main exploited aquifers and aquifer systems of Ukraine are considered. The potential of stable hydrogen and oxygen isotopes (δ^2H and δ^{18}O) for identifying recharge sources and seasonality, mixing processes, and hydraulic connections between surface water and groundwater is discussed. The application of ^{3}H/^{3}He and chlorofluorocarbons (CFCs) for estimating the apparent age of young groundwater, groundwater exchange intensity and the contribution of modern recharge is considered. The multilayer aquifer system of the Dnipro-Donets artesian basin is presented as a particularly promising target for such investigations. The potential use of isotope data for refining assessments of aquifer natural protection and identifying sources of nitrate contamination is also addressed. Integration of isotope techniques with hydrogeological, hydrochemical and geospatial investigations is proposed as an effective approach for improving the assessment of exploitable groundwater resources and supporting more reliable conceptual models of groundwater flow systems.

Keywords: isotope hydrology, groundwater, aquifer, δ^{18}O, δ^2H, ^{3}H/^{3}He, CFC, groundwater recharge, resource renewability, aquifer protection.

Вступ. Підземні води є важливою складовою природно-ресурсного потенціалу надр України та відіграють суттєву роль у забезпеченні питного, господарського і промислового водопостачання. Раціональне використання ресурсів підземних вод потребує не лише кількісної оцінки запасів і моніторингу гідродинамічних та гідрохімічних показників, але й достовірного розуміння умов формування, джерел живлення, інтенсивності водообміну, ступеня відновлюваності та захищеності від антропогенного забруднення. Особливої актуальності ці питання набувають в умовах зростання техногенного навантаження, трансформації землекористування, зміни клімату та порушення водогосподарської інфраструктури внаслідок воєнних дій.

Традиційні гідрогеологічні й гідрохімічні методи дозволяють отримувати важливу інформацію про стан водоносних горизонтів, однак у багатьох випадках не дають змоги однозначно встановити походження води, визначити частку сучасного живлення, оцінити швидкість водообміну або простежити гідравлічні зв'язки між різними компонентами водної системи. Додаткові можливості для вирішення цих завдань надають методи ізотопної гідрології, які ґрунтуються на аналізі природного ізотопного складу води та

розчинених у ній компонентів і широко застосовуються для дослідження живлення, шляхів руху, змішування та віку підземних вод [1, 2].

Використання стабільних ізотопів водню і кисню, тритію, ізотопів вуглецю, а також ізотопних характеристик окремих забруднювальних речовин дозволяє досліджувати походження і сезонність живлення підземних вод, розрізняти сучасні та давні води, встановлювати процеси змішування, оцінювати взаємодію поверхневих і підземних вод та визначати джерела забруднення. У поєднанні з традиційними гідрогеологічними, гідрохімічними та геоінформаційними методами ізотопні дослідження можуть суттєво підвищити обґрунтованість оцінки експлуатаційних ресурсів і природної захищеності водоносних горизонтів [2].

В Україні потенціал ізотопної гідрології для вирішення прикладних гідрогеологічних завдань поки реалізований лише частково. Аналіз наявних публікацій свідчить, що дослідження мають переважно локальний або регіональний характер і зосереджені на окремих компонентах водного циклу та водоносних системах. Зокрема, стабільні ізотопи δ^2H і δ18O використовувалися для формування ізотопної основи басейнових досліджень і встановлення сезонності живлення підземних вод у Східній Україні [3, 7], для аналізу чутливості гідрологічних процесів до зміни клімату [3], а також для дослідження просторово-часових закономірностей ізотопного складу опадів у північно-центральній частині України [1]. Комплексне трасування джерел живлення та забруднення неглибоких міських підземних вод було апробовано на прикладі Харкова [8, 9], тоді як для глибших експлуатаційних горизонтів Києва показано інформативність просторово-часового розподілу тритію для оцінки водообміну сеноман-келовейського комплексу [10].

Водночас ці дослідження ще не сформували систематичного застосування ізотопних методів під час оцінки експлуатаційних ресурсів і захищеності основних водоносних комплексів України. Особливо значний потенціал мають дослідження, спрямовані на встановлення частки сучасного живлення, визначення віку та розподілу часу перебування підземних вод, виявлення міжпластового перетікання й перевірку концептуальних гідрогеологічних моделей. Для України це актуально через значну різноманітність гідрогеологічних умов – від багатоповерхових артезіанських систем Дніпровсько-Донецького і Волино-Подільського басейнів до неглибоких алювіальних і тріщинних водоносних систем. Розширення застосування ізотопних трасерів могло б забезпечити незалежну перевірку припущень щодо формування експлуатаційних ресурсів та підвищити надійність оцінки їх відновлюваності й вразливості.

Мета дослідження. Метою роботи є обґрунтування перспектив застосування методів ізотопної гідрології для комплексної оцінки умов формування, відновлюваності, гідравлічних взаємозв'язків і ступеня природної захищеності основних експлуатаційних водоносних горизонтів і комплексів України. Особлива увага приділяється можливостям використання ізотопних показників для визначення джерел і сезонності живлення підземних вод, встановлення частки сучасної інфільтрації, оцінювання інтенсивності водообміну, виявлення гідравлічного зв'язку між водоносними горизонтами та поверхневими водними об'єктами, а також ідентифікації окремих джерел антропогенного забруднення. Практичне значення такого підходу полягає у підвищенні обґрунтованості оцінки експлуатаційних ресурсів підземних вод, їх відновлюваності та вразливості до антропогенних і природних чинників.

Методи дослідження. Методична основа роботи передбачає комплексне використання стабільних і радіоактивних ізотопів, атмосферних трасерів віку води та традиційних гідрогеологічних, гідрохімічних і геоінформаційних методів. Для встановлення генезису, умов і сезонності живлення підземних вод доцільним є аналіз стабільних ізотопів водню і кисню – δ^2H та δ^{18}O. Порівняння їх співвідношення у підземних водах, атмосферних опадах і поверхневих водах із локальними та глобальною метеорними лініями дозволяє ідентифікувати джерела живлення, прояви випаровування до

інфільтрації, змішування вод різного походження та можливі гідравлічні зв'язки між компонентами водної системи [4, 6].

Для оцінки сучасності живлення, часу перебування та інтенсивності водообміну перспективним є поєднання тритій-гелієвого методу $^{3}H/^{3}He$ та атмосферних трасерів – хлорфторвуглеців CFC-11, CFC-12 і CFC-113. Метод $^{3}H/^{3}He$ дає змогу оцінювати видимий вік молодих підземних вод за співвідношенням залишкового тритію та тритіогенного ^{3}He [5], тоді як CFC-метод ґрунтується на порівнянні їх концентрацій у воді з історичною динамікою в атмосфері [2]. Сам тритій може використовуватися як індикатор присутності сучасного компонента живлення, а для вод із тривалішим часом перебування доцільним є застосування ^{14}C у поєднанні з $\delta^{13}C$ розчиненого неорганічного вуглецю. Визначення ізотопного складу нітратів за $\delta^{15}N–NO_3$ та $\delta^{18}O–NO_3$ може використовуватися для диференціації основних джерел азотного забруднення [8].

Отримані ізотопні дані доцільно інтерпретувати спільно з результатами визначення хімічного складу підземних вод, рівнів і режиму ґрунтових та міжпластових вод, геологічної будови, потужності й літології водотривких та слабкопроникних відкладів, а також просторового положення потенційних зон живлення і джерел антропогенного навантаження. Такий інтегрований підхід дозволяє використовувати ізотопні характеристики не як ізольований показник, а як додаткове джерело інформації для оцінювання фактичної динаміки водообміну, відновлюваності ресурсів та природної захищеності водоносних горизонтів.

Практичне застосування методів ізотопної гідрології у сфері надрокористування доцільно розглядати через комплекс завдань, пов'язаних із визначенням умов формування підземних вод, оцінкою їх відновлюваності, встановленням гідравлічних взаємозв'язків, природної захищеності водоносних горизонтів і походження антропогенного забруднення. На відміну від традиційних гідрогеологічних і гідрохімічних показників, ізотопний склад води та розчинених у ній компонентів дає можливість отримувати інформацію не лише про поточний стан водоносної системи, а й про процеси її формування та функціонування.

Визначення джерел і умов живлення підземних вод. Одним із ключових завдань при оцінці експлуатаційних ресурсів підземних вод є встановлення територій, джерел та механізмів їх живлення. Стабільні ізотопи водню і кисню ($\delta^{2}H$ та $\delta^{18}O$) є природними трасерами, ізотопний склад яких формується під час проходження води через гідрологічний цикл. Порівняння ізотопних характеристик підземних вод із атмосферними опадами, поверхневими водами та локальною метеорною лінією дозволяє визначати переважні джерела живлення водоносних горизонтів, оцінювати внесок опадів різних сезонів, виявляти роль сніготанення, а також встановлювати прояви випаровування перед інфільтрацією. Це завдання особливо актуальне для багатоповерхових артезіанських басейнів, де окремі водоносні горизонти розділені слабкопроникними товщами, але водночас можуть бути гідравлічно пов'язані через ділянки виклинювання, тектонічні порушення, ерозійні врізи або гідрогеологічні «вікна». У таких умовах встановлення фактичних шляхів формування експлуатаційних ресурсів лише за геологічною будовою та п'єзометричними даними може бути недостатнім. Загальні принципи такого використання стабільних ізотопів підтверджені численними міжнародними дослідженнями [4, 6].

Найбільш показовим прикладом є Дніпровсько-Донецький артезіанський басейн, який характеризується потужною зоною активного водообміну та складною системою взаємопов'язаних водоносних горизонтів. Основне значення для водопостачання тут мають еоценовий, сеноман-нижньокрейдовий та верхньоюрський водоносні комплекси, які широко використовуються для водопостачання Києва, Харкова, Полтави, Сум, Прилук та інших населених пунктів. Значну роль у формуванні ресурсів басейну відіграє вертикальний водообмін між горизонтами, а потужність зони інтенсивного водообміну місцями сягає близько 1000 м. Дослідження тритію у сеноман-келовейському комплексі Києва також засвідчило можливість використання ізотопних даних для індикації змін вертикального водообміну [10].

Саме для таких умов застосування δ^2H і $\delta^{18}O$ може бути корисним для розмежування вод різного походження та перевірки припущень щодо зон живлення сеноман-нижньокрейдових і юрських горизонтів. Наприклад, порівняння ізотопного складу вод верхніх четвертинних та палеогенових горизонтів із водами глибших крейдових і юрських комплексів може дозволити оцінити, чи формуються експлуатаційні ресурси переважно за рахунок повільного регіонального живлення в периферійних частинах басейну, чи до них також надходить молодша вода шляхом вертикального перетікання. Особливо перспективними є ділянки, де геологічна будова створює умови для міжпластового водообміну.

Для територій зі складною гідрогеологічною будовою такий підхід може використовуватися для уточнення положення зон живлення окремих водоносних комплексів і перевірки концептуальних моделей формування їх ресурсів. Ізотопні відмінності між водами різного походження також дозволяють виявляти їх змішування та оцінювати внесок окремих джерел у формування вод, що надходять до експлуатаційних свердловин. Таким чином, ізотопна інформація може доповнювати результати гідродинамічних досліджень при обґрунтуванні експлуатаційних запасів підземних вод.

Оцінка відновлюваності ресурсів та інтенсивності водообміну. Для раціонального використання підземних вод принципове значення має встановлення не лише величини їх запасів, а й швидкості відновлення та часу перебування води у водоносній системі. У цьому контексті важливу інформацію можуть надавати методи датування молодих підземних вод за співвідношенням $^3H/^3He$ та за вмістом хлорфторвуглецїв (CFC-11, CFC-12 і CFC-113). Вони найбільш ефективні для вод, що містять компонент живлення другої половини XX – початку XXI століття, тобто для водоносних горизонтів, які беруть участь у відносно активному сучасному водообміні.

Метод $^3H/^3He$ ґрунтується на радіоактивному розпаді тритію (^3H) з утворенням гелію-3 (^3He). Після інфільтрації води та її ізоляції від атмосфери вміст тритію поступово зменшується, тоді як кількість тритіогенного ^3He збільшується. Співвідношення залишкового ^3H та утвореного ^3He дозволяє визначати «видимий» час, що минув від моменту живлення водоносного горизонту. Цей метод особливо інформативний для вод, сформованих протягом останніх кількох десятиліть, і може використовуватися для оцінки швидкості вертикального та латерального руху підземних вод, інтенсивності живлення і часу надходження води від області інфільтрації до експлуатаційної свердловини. Для змішаних вод отриманий вік характеризує переважно молодий компонент і має інтерпретуватися з урахуванням моделі змішування. Класичне обґрунтування методу та його застосування для молодих підземних вод наведено у роботі Schlosser et al. [5].

Метод CFC ґрунтується на тому, що концентрації хлорфторвуглецїв в атмосфері протягом другої половини XX століття змінювалися у часі за достатньо добре відомою траєкторією. Під час інфільтрації вода контактує з ґрунтовим повітрям і набуває концентрацій CFC, близьких до рівноважних з атмосферою на момент живлення. Порівняння визначених у підземній воді концентрацій CFC-11, CFC-12 і CFC-113 з історичними атмосферними кривими дозволяє оцінювати видимий вік води. Метод може бути особливо корисним для дослідження вод, що надійшли до водоносного горизонту приблизно з середини XX століття, однак його застосування потребує врахування можливого мікробіологічного руйнування, сорбції, локального техногенного забруднення CFC та змішування вод різного віку. Методичні засади застосування CFC як трасерів і засобів датування молодих підземних вод детально розглянуті Busenberg and Plummer [2].

Найбільш надійні результати можуть бути отримані при спільному використанні $^3H/^3He$ та кількох сполук CFC. Незалежне визначення видимого віку за різними трасерами дозволяє перевірити узгодженість результатів і виявляти змішування молодих та старіших вод. Відмінності між $^3H/^3He$- та CFC-віком можуть, у свою чергу, бути діагностичною ознакою складної структури потоку, змішування вод або геохімічної трансформації CFC. Відомості про вік підземних вод можуть використовуватися для оцінювання швидкості

живлення, калібрування гідрогеологічних моделей, визначення часу руху води від області живлення до водозабору та оцінювання вразливості експлуатаційного горизонту до надходження забруднювальних речовин.

Для умов України особливо перспективним об'єктом таких досліджень є Дніпровсько-Донецький артезіанський басейн, де експлуатаційне значення мають кілька водоносних горизонтів і комплексів, що залягають на різних глибинах та характеризуються різною інтенсивністю водообміну. Найбільший інтерес для застосування $^{3}H/^{3}He$ та CFC становлять палеогенові, насамперед еоценові, а також альб-сеноманські водоносні горизонти і комплекси у межах зони активного та утрудненого водообміну. Ці води широко використовуються для централізованого водопостачання, а їх фактична відновлюваність залежить від співвідношення безпосереднього живлення, регіонального латерального притоку та міжпластового перетікання.

Особливо актуальними такі дослідження можуть бути в периферійних частинах Дніпровсько-Донецького басейну, де водоносні породи залягають відносно неглибоко або виходять ближче до поверхні, а також у районах великих водозаборів, де тривала експлуатація могла змінити природні напірні співвідношення між горизонтами. Наприклад, побудова профілю від області живлення до центральної частини басейну з одночасним визначенням $^{3}H/^{3}He$, CFC-11, CFC-12 та CFC-113 у водах четвертинних, еоценових і альб-сеноманських горизонтів дозволила б простежити збільшення часу перебування води за напрямком її руху, встановити ділянки активного сучасного поповнення та виявити зони вертикального перетікання. Для експлуатаційних свердловин це дало б можливість оцінити, чи формується водовідбір переважно за рахунок сучасно відновлюваних ресурсів, чи значну частину становлять води з тривалішим часом перебування у водоносній системі.

Таким чином, застосування $^{3}H/^{3}He$ та CFC у Дніпровсько-Донецькому артезіанському басейні може бути спрямоване не лише на визначення видимого віку підземних вод, а й на вирішення безпосередньо прикладного завдання надрокористування – встановлення швидкості відновлення експлуатаційних ресурсів та розмежування сучасно поновлюваної і повільно відновлюваної складових водообміну. Отримані дані можуть використовуватися для уточнення допустимих експлуатаційних навантажень і перевірки гідродинамічних моделей, що застосовуються при оцінці запасів підземних вод.

Встановлення гідравлічних зв'язків між водоносними горизонтами та поверхневими водами. Одним із ключових питань при експлуатації підземних вод є визначення реальної структури водообміну між окремими водоносними горизонтами, річками, водосховищами та іншими поверхневими водними об'єктами. Гідродинамічні дані не завжди дозволяють однозначно встановити напрям і масштаб такого обміну, особливо за складної геологічної будови або сезонної мінливості рівнів води.

Якщо різні компоненти водної системи мають відмінний ізотопний склад, $\delta^{2}H$ і $\delta^{18}O$ можуть використовуватися як природні трасери їх взаємодії. Це дозволяє встановлювати надходження річкової води до експлуатаційного водоносного горизонту, виявляти перетікання між горизонтами через слабкопроникні товщі або гідрогеологічні «вікна», а також оцінювати змішування вод у межах водозаборів. Такі дослідження мають особливе значення при прогнозуванні наслідків інтенсивного водовідбору, оскільки експлуатація свердловин може змінювати природні градієнти та активізувати надходження вод із суміжних горизонтів або поверхневих джерел.

Оцінка природної захищеності та вразливості водоносних горизонтів. Традиційна оцінка природної захищеності підземних вод переважно ґрунтується на аналізі глибини залягання водоносного горизонту, потужності та літологічного складу перекривних відкладів, їх фільтраційних властивостей і положення потенційних джерел забруднення. Ці показники характеризують потенційні умови проникнення забруднювальних речовин, однак не завжди дають змогу оцінити фактичну швидкість надходження інфільтраційних вод до водоносного горизонту.

У цьому аспекті ізотопні методи можуть надати принципово додаткову інформацію. Виявлення у підземній воді чітко вираженого сучасного ізотопного компонента, зокрема тритію, може свідчити про наявність відносно швидких шляхів інфільтрації або гідравлічного зв'язку з верхніми водоносними горизонтами. Це особливо важливо у випадках, коли за геологічними критеріями горизонт вважається відносно захищеним, але фактичні умови водообміну допускають проникнення молодих вод із земної поверхні. Навпаки, відсутність сучасного компонента поряд з іншими гідрогеологічними ознаками може підтверджувати уповільнений водообмін і вищий ступінь природної ізольованості.

Разом із тим ізотопні показники не повинні розглядатися як самостійний універсальний критерій захищеності. Їх найбільша цінність полягає у перевірці та уточненні концептуальної гідрогеологічної моделі, сформованої на основі геологічних, гідродинамічних і гідрохімічних даних. У такому контексті ізотопні дослідження дозволяють перейти від переважно статичної оцінки захищеності за характеристиками перекривних товщ до оцінки фактичної динаміки водообміну.

Ідентифікація джерел забруднення підземних вод. Для оцінки екологічних ризиків експлуатації водоносних горизонтів важливим є не лише встановлення концентрацій забруднювальних речовин, але й визначення їх походження. Особливо актуальним це є для нітратного забруднення ґрунтових вод у сільськогосподарських, приміських і сільських районах, де одночасно можуть діяти декілька джерел надходження сполук азоту.

Аналіз $\delta^{15}N$ та $\delta^{18}O$ у нітратах дозволяє диференціювати потенційне походження азотного навантаження та разом із гідрохімічними показниками оцінювати роль мінеральних добрив, органічних відходів, стічних вод або інших джерел. Поєднання таких даних із $\delta^{2}H$, $\delta^{18}O$ і ^{3}H води дає можливість одночасно встановлювати джерело забруднення та характер надходження води, яка його переносить. Це створює передумови для більш обґрунтованого визначення зон санітарної охорони, локалізації джерел ризику та планування заходів із захисту підземних вод. Ефективність такого комплексного підходу була показана, зокрема, для неглибокого міського водоносного горизонту Харкова [9].

Інтеграція ізотопних даних у систему обґрунтування надрокористування. Найбільший практичний ефект ізотопні методи забезпечують не як окремий вид досліджень, а як складова комплексної гідрогеологічної оцінки. Поєднання ізотопних характеристик із даними про геологічну будову, рівні підземних вод, дебіти свердловин, хімічний склад, землекористування та просторове розміщення потенційних джерел впливу дозволяє формувати більш обґрунтовані концептуальні моделі функціонування водоносних систем.

Для практики надрокористування це означає можливість більш достовірно визначати зони формування експлуатаційних ресурсів, оцінювати частку сучасного живлення, виявляти джерела поповнення запасів, прогнозувати можливі наслідки інтенсивного водовідбору та оцінювати ризик надходження забруднювальних речовин. Відповідно, застосування методів ізотопної гідрології може підвищити надійність оцінки ресурсного потенціалу водоносних горизонтів і сприяти переходу від переважно статичного уявлення про запаси підземних вод до оцінювання їх як динамічної та взаємопов'язаної гідрогеологічної системи.

Висновки. Методи ізотопної гідрології мають значний потенціал для підвищення достовірності оцінки ресурсів, умов формування та захищеності експлуатаційних водоносних горизонтів і комплексів України. Їх застосування дозволяє доповнити традиційні гідрогеологічні та гідрохімічні дослідження інформацією про джерела і сезонність живлення, час перебування води у водоносній системі, інтенсивність водообміну, міжпластові та поверхнево-підземні гідравлічні зв'язки.

Використання стабільних ізотопів водню і кисню є особливо перспективним для встановлення генезису підземних вод, зон їх живлення та процесів змішування. Методи датування молодих підземних вод за $^{3}H/^{3}He$ та CFC можуть бути використані для оцінювання часу надходження води до експлуатаційних горизонтів, визначення частки

сучасного живлення та уточнення фактичної відновлюваності ресурсів. Особливий практичний інтерес такі дослідження становлять для багатоповерхових систем Дніпровсько-Донецького артезіанського басейну, де формування експлуатаційних ресурсів визначається поєднанням регіонального латерального потоку, інфільтраційного живлення та міжпластового водообміну.

Ізотопні показники можуть також використовуватися для уточнення природної захищеності водоносних горизонтів. Встановлення присутності молодого компонента води у напірному горизонті дозволяє виявляти фактичні шляхи швидкого водообміну, які не завжди можуть бути визначені лише за геолого-літологічними критеріями. Аналіз стабільних ізотопів нітратів додатково розширює можливості ідентифікації джерел антропогенного забруднення підземних вод.

Найбільшу практичну цінність ізотопні методи мають за умови їх інтеграції з гідрогеологічними, гідродинамічними, гідрохімічними та геоінформаційними даними. Систематичне впровадження таких досліджень в Україні може сприяти удосконаленню оцінки експлуатаційних запасів підземних вод, обґрунтуванню допустимих рівнів водовідбору, оцінці вразливості водоносних горизонтів і формуванню більш надійних концептуальних моделей підземного водообміну.

Список використаних джерел:

1. Avery, E., Samonina, O., Kryshtop, L., Vyshenska, I., Fryar, A. E., & Erhardt, A. M. (2022). Use of isotopes in examining precipitation patterns in north-central Ukraine. Isotopes in Environmental and Health Studies, 58(4–6), 380–401. https://doi.org/10.1080/10256016.2022.2131781
2. Busenberg, E., & Plummer, L. N. (1992). Use of chlorofluorocarbons (CCl_3F and CCl_2F_2) as hydrologic tracers and age-dating tools: The alluvium and terrace system of central Oklahoma. Water Resources Research, 28(9), 2257–2283. https://doi.org/10.1029/92WR01263
3. Diadin, D., & Vystavna, Y. (2020). Long-term meteorological data and isotopic composition in precipitation, surface water and groundwater revealed hydrologic sensitivity to climate change in East Ukraine. Isotopes in Environmental and Health Studies, 56(2), 136–148. https://doi.org/10.1080/10256016.2020.1732369
4. Jasechko, S. (2019). Global isotope hydrogeology–Review. Reviews of Geophysics, 57(3), 835–965. https://doi.org/10.1029/2018RG000627
5. Schlosser, P., Stute, M., Dörr, H., Sonntag, C., & Münnich, K. O. (1988). Tritium/3He dating of shallow groundwater. Earth and Planetary Science Letters, 89(3–4), 353–362. https://doi.org/10.1016/0012-821X(88)90122-7
6. Tweed, S., Leblanc, M., Cartwright, I., Bass, A., Travi, Y., Marc, V., Bach, T. N., Dang Duc, N., Massuel, S., & Kumar, U. S. (2019). Stable isotopes of water in hydrogeology. In Encyclopedia of Water: Science, Technology, and Society (pp. 1–10). Wiley. https://doi.org/10.1002/9781119300762.wsts0154
7. Vystavna, Y., Diadin, D., & Huneau, F. (2018). Defining a stable water isotope framework for isotope hydrology application in a large trans-boundary watershed (Russian Federation/Ukraine). Isotopes in Environmental and Health Studies, 54(2), 147–167. https://doi.org/10.1080/10256016.2017.1346635
8. Vystavna, Y., Diadin, D., Yakovlev, V., Hejzlar, J., Vadillo, I., Huneau, F., & Lehmann, M. F. (2017). Nitrate contamination in a shallow urban aquifer in East Ukraine: Evidence from hydrochemical, stable isotopes of nitrate and land use analysis. Environmental Earth Sciences, 76, 463. https://doi.org/10.1007/s12665-017-6796-1
9. Vystavna, Y., Schmidt, S. I., Diadin, D., Rossi, P. M., Vergeles, Y., Erostate, M., Yermakovych, I., Yakovlev, V., Knöller, K., & Vadillo, I. (2019). Multi-tracing of recharge seasonality and contamination in groundwater: A tool for urban water resource management. Water Research, 161, 413–422. https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.06.028

10. Кошляков, О., Кошлякова, Т., Диняк, О., & Кошлякова, І. (2022). Використання часового та просторового розподілу тритію для індикації змін стану сеноман-келовейського комплексу питних підземних вод на території міста Києва. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія, 3(98), 80–85. https://doi.org/10.17721/1728-2713.98.10

References

Avery, E., Samonina, O., Kryshtop, L., Vyshenska, I., Fryar, A. E., & Erhardt, A. M. (2022). Use of isotopes in examining precipitation patterns in north-central Ukraine. Isotopes in Environmental and Health Studies, 58(4–6), 380–401. https://doi.org/10.1080/10256016.2022.2131781

Busenberg, E., & Plummer, L. N. (1992). Use of chlorofluorocarbons (CCl_3F and CCl_2F_2) as hydrologic tracers and age-dating tools: The alluvium and terrace system of central Oklahoma. Water Resources Research, 28(9), 2257–2283. https://doi.org/10.1029/92WR01263

Diadin, D., & Vystavna, Y. (2020). Long-term meteorological data and isotopic composition in precipitation, surface water and groundwater revealed hydrologic sensitivity to climate change in East Ukraine. Isotopes in Environmental and Health Studies, 56(2), 136–148. https://doi.org/10.1080/10256016.2020.1732369

Jasechko, S. (2019). Global isotope hydrogeology–Review. Reviews of Geophysics, 57(3), 835–965. https://doi.org/10.1029/2018RG000627

Koshliakov O., Koshliakova T., Dyniak O., & Koshliakova I. (2022). Experience of isotope technologies application to study changes in deep-water potable aquifers state within Kyiv in conditions of long-term operation. Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology, 3(98), 80-85. https://doi.org/10.17721/1728-2713.98.10 [In Ukrainian]

Schlosser, P., Stute, M., Dörr, H., Sonntag, C., & Münnich, K. O. (1988). Tritium/3He dating of shallow groundwater. Earth and Planetary Science Letters, 89(3–4), 353–362. https://doi.org/10.1016/0012-821X(88)90122-7

Tweed, S., Leblanc, M., Cartwright, I., Bass, A., Travi, Y., Marc, V., Bach, T. N., Dang Duc, N., Massuel, S., & Kumar, U. S. (2019). Stable isotopes of water in hydrogeology. In Encyclopedia of Water: Science, Technology, and Society (pp. 1–10). Wiley. https://doi.org/10.1002/9781119300762.wsts0154

Vystavna, Y., Diadin, D., & Huneau, F. (2018). Defining a stable water isotope framework for isotope hydrology application in a large trans-boundary watershed (Russian Federation/Ukraine). Isotopes in Environmental and Health Studies, 54(2), 147–167. https://doi.org/10.1080/10256016.2017.1346635

Vystavna, Y., Schmidt, S. I., Diadin, D., Rossi, P. M., Vergeles, Y., Erostate, M., Yermakovych, I., Yakovlev, V., Knöller, K., & Vadillo, I. (2019). Multi-tracing of recharge seasonality and contamination in groundwater: A tool for urban water resource management. Water Research, 161, 413–422. https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.06.028

Vystavna, Y., Diadin, D., Yakovlev, V., Hejzlar, J., Vadillo, I., Huneau, F., & Lehmann, M. F. (2017). Nitrate contamination in a shallow urban aquifer in East Ukraine: Evidence from hydrochemical, stable isotopes of nitrate and land use analysis. Environmental Earth Sciences, 76, 463. https://doi.org/10.1007/s12665-017-6796-1

УДК 614.2:504.4:551.46

МЕДИЧНА ОКЕАНОЛОГІЯ ЯК НАУКОВА ОСНОВА ДЛЯ РОЗВИТКУ КУРОРТНИХ РЕСУРСІВ ПРИБЕРЕЖНИХ ЗОН МОРІВ І ОКЕАНІВ

***Ємельянов В.О.**, ORCID 0000-0002-8972-0754 volodyasea1990@gmail.com,*
***Мокієнко А.В.**, ORCID: 0000-0002-4491-001X mokienkoav56@gmail.com,*
Державна наукова установа «Центр морської геології, геоекології та осадового рудоутворення Національної академії наук України», м. Київ, Україна

У статті узагальнено сучасні підходи до взаємозв'язку між здоров'ям океану та здоров'ям людини. Розглянуто міждисциплінарну концепцію «Океани та здоров'я людини», яка об'єднує океанографію, екологію, медицину та громадське здоров'я. Охарактеризовано основні переваги морського середовища для людини та потенційні ризики, пов'язані з біологічними та хімічними факторами. Особлива увага приділяється показникам здоров'я океану та людини, моніторингу, біомаркерам та моделям впливу. Представлено обґрунтування розвитку медичної океанології як нової міждисциплінарної наукової галузі.

Ключові слова: медична океанологія, океан, здоров'я людини, громадське здоров'я, морське середовище, екологічні ризики, показники, біомаркери.

MEDICAL OCEANOLOGY AS A SCIENTIFIC BASIS FOR DEVELOPING RESORT RESOURCES IN COASTAL ZONES OF SEAS AND OCEANS

***Iemelianov V.,** ORCID 0000-0002-8972-0754 volodyasea1990@gmail.com,*
***Mokiienko A.,** ORCID: 0000-0002-4491-001X mokienkoav56@gmail.com,*
State Scientific Institution "Centre for Marine Geology, Geoecology and Sedimentary Ore Formation of the National Academy of Sciences of Ukraine," Kyiv, Ukraine

The article summarizes current approaches to the relationship between ocean health and human health. The interdisciplinary concept of “Oceans and Human Health”, integrating oceanography, ecology, medicine and public health, is considered. The major benefits of the marine environment for humans and potential risks associated with biological and chemical factors are characterized. Particular attention is paid to ocean and human health indicators, monitoring, biomarkers and exposure models. The rationale for developing medical oceanology as a new interdisciplinary scientific field is presented.

Keywords: medical oceanology, ocean, human health, public health, marine environment, environmental risks, indicators, biomarkers.

Вступ. В статті, для позначення поняття, яке означає єдину глобальну екосистему, яка за своїми масштабами охоплює більшу частину просторових субсистем (океани, моря, заливи, проливи, естуарії, лимани) геоекосистеми (ГЕС) Світового океану, автори вживають термін Океан (з великої літери). У складі геоекосистеми Океан функціонують відкриті, щільно пов’язані між собою природні середовищні екологічні субсистеми нижніх рівнів – аеральна, акваальна і геологічна, системоутворюючі середовища яких за своїми характеристиками відрізняються від відповідних природних середовищ континентальної субсистеми як другої глобальної складової ГЕС Землі. Значення субсистеми Океан для існування та функціонування ГЕС планети Земля, особливо для існування її органічної живої субсистеми, і людина не є виключенням, неоціненно.

Океан бере участь у глобальному і регіональному регулюванні клімату, забезпечує людство водними, харчовими та іншими ресурсами. Середовища його відповідних субсистем також пов’язані та впливають на його транспортні, туристичні, аквакультурні, рекреаційні та інші ресурси, відповідні види економічної діяльності та соціальних процесів. Водночас сучасна антропогенна діяльність призводить до деградації, передусім, прибережних частин ГЕС Океану. Забруднення, зміни клімату, індустріалізація, поширення токсичних речовин та інші наслідки певної антропогенної діяльності породжують фактори, які можуть формувати прямі й непрямі загрози з боку Океану для здоров’я людини. У зв’язку з цим сформувалася наукова міждисциплінарна концепція «Океани та здоров’я людини» » (Oceans and Human Health), яка не тільки поєднує підходи океанології, екології,

медицини та громадського здоров'я, але й розглядає здоров'я океану та здоров'я людини та здоров'я і добробут населення, взагалі, як взаємопов'язані компоненти єдиної системи [Fleming et al., 2021; 2023].

Мета дослідження. Метою роботи є узагальнення наукових положень щодо взаємозв'язку між станом Океану та здоров'ям людини й обґрунтування доцільності розвитку медичної океанології, зокрема, як однієї з найважливіших складових наукової основи для ефективного використання та розвитку курортних ресурсів прибережних (прикордонних з ГЕСК) зон Океану.

Матеріали та методи. Матеріалами дослідження були наукові та аналітичні наробки багатьох вчених, присвячені міждисциплінарній проблемі «Океани та здоров'я людини», системі дослідження індикаторів здоров'я океану та здоров'я людини та обґрунтуванню наукового напряму медична океанологія. Застосовано методи екосистемного аналізу, систематизації, узагальнення та порівняльної інтерпретації представлених положень.

Результати.

Формування концепції «Океани та здоров'я людини»

«Океани та здоров'я людини» є міждисциплінарною концепцією і сферою досліджень, спрямованою на вивчення складної системи взаємозв'язків між станом морського середовища та здоров'ям і благополуччям людей. Концепція охоплює як позитивні складові впливу Океану на здоров'я людини, так і потенційні ризики, що виникають внаслідок деградації цієї єдиної глобальної безперервної ГЕС.

Офіційне формування цієї наукової концепції пов'язують із проведенням у листопаді 1999 р. зустрічі «Oceans and Human Health» (ОНН) за участю Bermuda Biological Station for Research, Міжнародної океанографічної комісії та National Institute of Environmental Health Sciences. Подальший розвиток отримали програми NSF/NIEHS Oceans and Human Health Centers та відповідні ініціативи NOAA. Значна увага приділялася шкідливому цвітінню водоростей, морським мікроорганізмам, природним продуктам і фармацевтичним сполукам морського походження [Fleming et al., 2021; 2023].

Подальше становлення напряму супроводжувалося розвитком міжнародної наукової співпраці, підготовкою навчальних курсів і формуванням дослідницьких програм. Європейський напрям був представлений програмою «Seas, Oceans and Public Health in Europe» у межах Horizon 2020, орієнтованою на консолідацію дослідників, громадського здоров'я, прибережних громад та інших зацікавлених сторін [Borja et al., 2020].

Океан як фактор здоров'я і ризику

Взаємозв'язок Океану та здоров'я людини має двобічний характер. З одного боку, Океан забезпечує харчові, мінеральні, енергетичні ресурси, можливості відпочинку та рекреації, економічну діяльність, транспорт, туризм, аквакультуру та інші суспільні блага. З іншого боку, зміни екологічного стану середовищ Океану можуть створювати умови для виникнення або посилення ризиків для здоров'я і, навіть, життя населення. Серед потенційних небезпечних факторів розглядаються патогенні мікроорганізми, токсини, що утворюють і виділяють гідробіонти, шкідливе цвітіння водоростей, стійкі органічні забруднювачі, поліциклічні ароматичні вуглеводні, важкі метали та інші небезпечні речовини [Depledge et al., 2019].

Особливого значення набуває проблема накопичення забруднювачів у морських організмах. Унаслідок біоакумуляції та біомагніфікації токсичні речовини можуть потрапляти до харчових ланцюгів і, зрештою, впливати на людину через споживання морепродуктів.

Серед хімічних факторів розглядаються метилртуть, кадмій, свинець, миш'як, поліхлоровані біфеніли та інші органічні забруднювачі. Їхній потенційний вплив залежить від концентрації, біодоступності, тривалості експозиції та шляху надходження до організму [Depledge et al., 2019].

Шляхи впливу середовищ Океану

Основними шляхами взаємодії людини з середовищами Океану є:

- споживання морепродуктів;
- контакт шкіри з морською водою;
- інгаляційний вплив морських аерозолів;
- перебування у прибережних територіях;
- професійна діяльність у океанічному середовищі;
- проживання населення у прибережних регіонах тощо.

Запропоновано п'ять основних початкових моделей дослідження впливу Океану на людину: полярні регіони та корінне населення; аерозолі токсинів гідробіонтів; міські гавані; споживання морепродуктів; тропічні прибережні райони та малі острівні держави. Застосування таких моделей дозволяє конкретизувати механізми експозиції та пов'язати характеристики середовищ Океану з потенційними наслідками для здоров'я певних груп населення [Fleming et al., 2021; 2023].

Система індикаторів здоров'я океану та здоров'я людини.

Важливою складовою розвитку концепції Oceans and Human Health (OHH) є створення системи індикаторів, яка дозволила б одночасно оцінювати зміни стану Океану та можливі наслідки для здоров'я людини.

Наголошується на необхідності поєднання екологічного моніторингу з оцінкою ризику для населення. Такий підхід передбачає раннє виявлення потенційних забруднювачів, оцінювання експозиції та визначення біологічних ефектів [Knap et al., 2002].

Запропонована структура досліджень передбачає чотири взаємопов'язані компоненти:

- механістичні дослідження;
- збір, накопичення і аналіз даних;
- розвиток біомаркерів;
- інформаційні технології;
- моделювання різних видів;
- навчання та підготовка фахівців.

З практичного боку, особливо важливим є розвиток біомаркерів, які можуть бути швидкими, надійними, доступними та придатними для міжнародного використання. Це створює можливість не лише виявляти існуючий вплив, але й прогнозувати потенційні зміни екосистем Океану та їхні наслідки для здоров'я людини.

Міждисциплінарність досліджень

Проблема «Океан – здоров'я людини» за своїм характером не може бути повністю досліджена в межах однієї наукової дисципліни. Необхідною є інтеграція океанології, медицини і громадського здоров'я, а також, екології, соціальних наук, океанографічного моделювання, інформатики та аналізу великих рядів даних. Міждисциплінарність має стосуватися не лише окремих дослідницьких проектів, але й системи підготовки фахівців, формування дослідницької інфраструктури та взаємодії наукових установ, органів державної влади, громад, неурядових організацій і бізнесу.

Саме така інтеграція створює основу для переходу від фрагментарного вивчення окремих морських факторів до комплексного дослідження ГЕС Океан, взаємовпливів океанічного середовища та здоров'я населення [Fleming et al., 2021; 2023].

'Медична океанологія як складова океанології та її перспективний науковий напрям

На основі аналізу проблеми авторами запропоновано поняття «медична океанологія» як комплексної науки, що досліджує вплив різних середовищних та інших складових і властивостей океану, процесів, які в ньому відбуваються або які він генерує, на зміцнення і збереження здоров'я та продовження життя окремих людей і груп населення.

При цьому передбачається використання профілактичних і лікувальних підходів, оздоровчих процедур, прогнозів і попереджень, інформаційних заходів щодо змін способу та місця проживання та інших засобів, спрямованих на покращення якості життя і зниження смертності.

Таким чином, медична океанологія може розглядатися як подальший розвиток концепції «Океани та здоров'я людини» з акцентом на практичне використання знань про морське середовище у сфері профілактики захворювань, охорони здоров'я та підвищення якості життя [Ємельянов В. О., Мокієнко А. В., 2025].

Перспективи розвитку медичної океанології в Україні

Для України розвиток медичної океанології має велике потенційне наукове та практичне значення. Особливої уваги потребує формування системи досліджень, орієнтованої на Чорне та Азовське моря, з урахуванням екологічного стану морських екосистем, особливостей прибережного населення та характеру антропогенного навантаження.

Перспективним є створення інтегрованої системи «середовища Океану — фактори експозиції — здоров'я населення», яка поєднувала б результати екологічного та медико-біологічного моніторингу.

Для системи громадського здоров'я це може створити можливість раннього виявлення ризиків, пов'язаних з небезпечними змінами середовища Океану, та своєчасного формування і вживання профілактичних заходів [Ємельянов В. О., Мокієнко А. В., 2025; Мокієнко А. В., Ємельянов В. О., 2025].

Висновки

1. «Океани та здоров'я людини» є міждисциплінарною сферою, що досліджує взаємозв'язок між станом океану та здоров'ям і благополуччям населення.
2. Океан є одночасно джерелом значних ресурсів і потенційних факторів ризику для здоров'я людини.
3. Основними напрямами оцінки ризиків є дослідження біологічних і хімічних факторів, шляхів експозиції, накопичення забруднювачів у морських організмах та впливу морських факторів на різні групи населення.
4. Перспективним є створення системи інтегрованих індикаторів здоров'я океану та здоров'я людини, доповненої біомаркерами, моделями експозиції та інформаційними технологіями.
5. Комплексність проблеми обумовлює необхідність міждисциплінарної взаємодії океанології, екології, медицини, громадського здоров'я, соціальних наук та інших галузей.
6. Поняття, що визначається терміном «медична океанологія», може бути використане як концептуальна основа нового наукового напряму, орієнтованого на дослідження впливу океанічного середовища на здоров'я людини та розроблення профілактичних і оздоровчих підходів до організації системи охорони здоровя в нашій країні.
7. Для України перспективним є розвиток медичної океанології стосовно Чорного та Азовського морів з інтеграцією екологічного моніторингу у систему дослідження громадського здоров'я.

Перспективи подальших досліджень

Подальші дослідження доцільно спрямувати на розроблення методологічних засад медичної океанології як наукової основи для розвитку, зокрема, курортних ресурсів прибережних зон ГЕС Океану, визначення об'єкту і предметів цього нового напряму океанології, формування системи індикаторів здоров'я океану та людини, розроблення біомаркерів і моделей оцінки ризиків, а також на адаптацію міжнародного досвіду рішення проблеми «Oceans and Human Health» до умов розвитку туризму на узбережжях Чорного і Азовського морів, передусім, в межах України.

Список використаних джерел:

Borja A., White M. P., Berdalet E., Bock N., Eatock C., Kristensen P., Leonard A., Lloret J., Pahl S., Parga M., Vera Prieto J., Wuijts S., Fleming L. E. Moving toward an agenda on ocean

health and human health in Europe. *Frontiers in Marine Science*. 2020. Vol. 7. Art. 3. DOI: https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00003.

Depledge M. H., White M. P., Maycock B., Fleming L. E. Time and tide: Our future health and well-being depend on the oceans. *BMJ*. 2019. Vol. 366. Art. l4671. DOI: https://doi.org/10.1136/bmj.l4671.

Fleming L. E., Depledge M., Bouley T., Britton E., Dupont S., Eatock C., Garside R., Heymans J. J., Kellett P., Lloret J., Maycock B., Pahl S., Philippart C. J. M., Roberts B. R., Thiele T., White M. P., Wuijts S. The Ocean Decade—Opportunities for oceans and human health programs to contribute to public health. *American Journal of Public Health*. 2021. Vol. 111, No. 5. P. 808–811. DOI: https://doi.org/10.2105/AJPH.2021.306229.

Fleming L. E., Rabbottini L., Depledge M. H., Alcantara-Creencia L., Gerwick W. H., Gohe H. C., Gordon V., Gribble M. O., Keast J., Maycock B., Solo-Gabriele H., Jahateh B., Pratt D. O., Davies A. D., Bennett B. Overview of oceans and human health. *Oceans and Human Health: Opportunities and Impacts*. 2nd ed. Elsevier, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/B978-0-323-95227-9.09990-5.

Knap A., Dewailly E., Furgal C., Galvin J., Baden D., Bowen R. E., Depledge M., Duguay L., Fleming L. E., Ford T., Moser F., Owen R., Suk W. A., Unluata U. Indicators of ocean health and human health: Developing a research and monitoring framework. *Environmental Health Perspectives*. 2002. Vol. 110, No. 9. P. 839–845. DOI: https://doi.org/10.1289/ehp.02110839.

Ємельянов В. О., Мокієнко А. В. Океани та здоров’я людини: обґрунтування нового наукового напрямку «Медична океанологія». *Crossroads of Ideas: Science, Technology and Society in a Global Context: Proceedings of the 1st International Scientific and Practical Internet Conference*, April 10–11, 2025. Dnipro, Ukraine : FOP Marenichenko V. V., 2025. P. 79–82. URL: http://www.wayscience.com/wp-content/uploads/2025/04/Conference-Proceedings-April-10-11-2025.pdf.

Ємельянов В. О., Мокієнко А. В. Система досліджень індикаторів здоров'я океану та здоров'я людини. *Ресурси природних вод Карпатського регіону: проблеми охорони та раціонального використання : матеріали Двадцять третьої Міжнародної науково-практичної конференції* (м. Львів, 29–30 травня 2025 р.). Львів : Національний університет «Львівська політехніка», 2025. 356 с. С. 28–32.

Ємельянов В. О., Мокієнко А. В. Щодо створення нового наукового напрямку «Медична океанологія». *Екологічні та гігієнічні проблеми сфери життєдіяльності людини : матеріали науково-практичної конференції з міжнародною участю* (Київ, 19 березня 2025 р.) / за заг. ред. чл.-кор. НАМН України, проф. С. Т. Омельчука. Київ, 2025. 298 с. С. 120–121.

Мокієнко А. В., Ємельянов В. О. Медична океанологія: міждисциплінарність вивчення проблеми «Людина – Океан». *Клінічна медицина навколишнього середовища : матеріали науково-практичної конференції з міжнародною участю Харківського національного медичного університету*. Харків : ХНМУ, 2025. 138 с. С. 105–106.

References

Borja, A., White, M. P., Berdalet, E., Bock, N., Eatock, C., Kristensen, P., Leonard, A., Lloret, J., Pahl, S., Parga, M., Vera Prieto, J., Wuijts, S., & Fleming, L. E. (2020). Moving toward an agenda on ocean health and human health in Europe. *Frontiers in Marine Science, 7*, 3. https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00003

Depledge, M. H., White, M. P., Maycock, B., & Fleming, L. E. (2019). Time and tide: Our future health and well-being depend on the oceans. *BMJ*, *366*, l4671. https://doi.org/10.1136/bmj.l4671

Fleming, L. E., Rabbottini, L., Depledge, M. H., Alcantara-Creencia, L., Gerwick, W. H., Gohe, H. C., Gordon, V., Gribble, M. O., Keast, J., Maycock, B., Solo-Gabriele, H., Jahateh, B., Pratt, D. O., Davies, A. D., & Bennett, B. (2023). Overview of oceans and human health. In *Oceans*

and human health: Opportunities and impacts (2nd ed.). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-323-95227-9.09990-5

Fleming, L. E., Depledge, M., Bouley, T., Britton, E., Dupont, S., Eatock, C., Garside, R., Heymans, J. J., Kellett, P., Lloret, J., Maycock, B., Pahl, S., Philippart, C. J. M., Roberts, B. R., Thiele, T., White, M. P., & Wuijts, S. (2021). The Ocean Decade—Opportunities for oceans and human health programs to contribute to public health. *American Journal of Public Health, 111*(5), 808–811. https://doi.org/10.2105/AJPH.2021.306229

Knap, A., Dewailly, E., Furgal, C., Galvin, J., Baden, D., Bowen, R. E., Depledge, M., Duguay, L., Fleming, L. E., Ford, T., Moser, F., Owen, R., Suk, W. A., & Unluata, U. (2002). Indicators of ocean health and human health: Developing a research and monitoring framework. *Environmental Health Perspectives, 110*(9), 839–845. https://doi.org/10.1289/ehp.02110839

Mokiienko A. V., Yemelianov V. O. Medychna okeanolohiia: mizhdystsyplinarnist vyvchennia problemy «Liudyna – Okean» [Medical Oceanology: Interdisciplinary Study of the "Human–Ocean" Problem]. *Klinichna medytsyna navkolyshnoho seredovyshcha: materialy nauk.-prakt. konf. z mizhnarodnoiu uchastiu Khark. nats. med. un-tu.* Kharkiv: KhNMU, 2025. 138 s. S. 105–106.

Yemelianov V. O., Mokiienko A. V. Okeany ta zdorovia liudyny: obgruntuvannia novoho naukovoho napriamku «Medychna okeanolohiia» [Oceans and Human Health: Substantiation of a New Scientific Field "Medical Oceanology"]. *Crossroads of Ideas: Science, Technology and Society in a Global Context: Proceedings of the 1st International Scientific and Practical Internet Conference*, April 10–11, 2025. FOP Marenichenko V. V., Dnipro, Ukraine, 2025. 229 p. S. 79–82. Conference Proceedings PDF

Yemelianov V. O., Mokiienko A. V. Systema doslidzhen indykatoriv zdorovia okeanu ta zdorovia liudyny. Resursy pryrodnykh vod Karpatskoho rehionu / Problemy okhorony ta ratsionalnoho vykorystannia. Materialy Dvadtsiat tretoi Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii (m. Lviv, 29–30 travnia 2025 r.): zbirnyk materialiv konferentsii. Lviv: Natsionalnyi universytet «Lvivska politekhnika», 2025. 356 s. S. 28–32. [System for Studying Ocean Health and Human Health Indicators].

Yemelianov V. O., Mokiienko A. V. Shchodo stvorennia novoho naukovoho napriamku «Medychna okeanolohiia». Materialy naukovo-praktychnoi konferentsii z mizhnarodnoiu uchastiu «Ekolohichni ta hihiienichni problemy sfery zhyttiediialnosti liudyny» (Kyiv, 19 bereznia 2025 r.) / za zahalnoiu redaktsiieiu chlen-kor. NAMN Ukrainy, profesora S. T. Omelchuka. Kyiv, 2025. 298 s. S. 120–121. [On the Establishment of a New Scientific Field "Medical Oceanology"].

УДК 556.3, 556.11, 556.114

АНАЛІЗ ПРИДАТНОСТІ ПІДЗЕМНИХ ВОД ДЛЯ ІРИГАЦІЙНИХ ЦІЛЕЙ В ЗОНІ ВПЛИВУ КАХОВСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА НА ПРИКЛАДІ НІКОПОЛЬСЬКОГО РАЙОНУ

Романюк І.М., *https://orcid.org/0009-0005-1378-0012, romaniuk@hydrosafe.kiev.ua*;
Колябіна І.Л., *к. геол. н., ст. дослідник, https://orcid.org/0000-0002-6120-449, kolira_igns@i.ua;*
Корнієнко Д.І., *danyakornienko2003@gmail.com;*
Інститут геологічних наук Національної Академії Наук України, Київ, Україна,

Метою даної роботи було оцінити придатність підземних вод різних водоносних горизонтів та комплексів для іригаційних цілей в зоні впливу Каховського водосховища на прикладі території Нікопольського району, яка знаходиться в безпосередній близькості від місця підриву та може максимально відчути наслідки руйнування дамби. Для оцінки придатності вод використані найбільш поширені показники *Na%*, *SAR*, *MH*, *PS*, *K* і *Ka*. Результати показали, що для вод комплексу у неогенових відкладах спостигається скупчення вод низької якості вище за течією біля м. Марганець та нижче за течією від м. Нікополь за такими критеріями: коефіцієнт магнієвої небезпеки *MH*; потенційна солоність *PS*; коефіцієнт шкідливості *K*; іригаційний коефіцієнт *Ka*. Оскільки у дослідженні використані дані, на час початку експлуатації водосховища і вони часткового включають дані що до його створення, то отримані оцінки можуть слугувати базисом для порівняння впливу варіантів стратегій його відновлення (або не відновлення). Для цього необхідно повторити оцінку для даних, отриманих перед підривом дамби та, хоча б частково, на сучасних даних. Води однієї свердловини одного водоносного комплексу за одними критеріями є придатними, за іншими – непридатними. Остаточне рішення щодо придатності має прийматися з урахуванням особливостей сільськогосподарських культур, типу ґрунтів, температурного режиму. Необхідно шукати узагальнений показник, що планується робити у подальшому.

Ключові слова: Каховське водосховище, підземні води, придатність для іригації, іригаційні коефіцієнти

ANALYSIS OF GROUNDWATER SUITABILITY FOR IRRIGATION IN THE KAKHOVKA RESERVOIR IMPACT ZONE: A CASE STUDY OF NIKOPOL DISTRICT

Romaniuk I., *https://orcid.org/0009-0005-1378-0012, romaniuk@hydrosafe.kiev.ua*;
Koliabina I., *PhD (Geol.), Senior Researcher, https://orcid.org/0000-0002-6120-449, kolira_igns@i.ua;*
Korniienko D., *danyakornienko2003@gmail.com;*
Institute of Geological Sciences of National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

This study evaluated groundwater suitability for irrigation in the Kakhovka Reservoir impact zone, focusing on Nikopol District - an area near the detonation site highly vulnerable to the dam's destruction. The most commonly used coefficients - *Na%, SAR, MH, PS*, *K*, and *Ka* - were used to assess water suitability. Results showed that Neogene aquifer waters near Marhanets (upstream) and Nikopol (downstream) accumulated poor-quality water, based on magnesium hazard (*MH*), potential salinity (*PS*), toxicity coefficient (*K*), and irrigation coefficient (*Ka*). As these estimates rely on early and pre-reservoir data, they provide a baseline for comparing recovery (or non-recovery) strategies. However, this assessment must be updated using pre-breach and recent data. Groundwater suitability within a single borehole varies across criteria; thus, final decisions must consider crop, soil, and thermal conditions. Future work will focus on developing a unified composite index.

Keywords: Kakhovka Reservoir, Groundwater, Suitability for irrigation, Irrigation coefficients

Вступ. На території дослідження (а саме в зоні впливу зруйнованого Каховського водосховища) інтенсивно ведеться сільськогосподарська діяльність (як на великих підприємства, так і у приватних садибах), успіхи якої безпосередньо залежать від наявності води для зрошування. Раніше джерелом та гарантом наявності доволі якісної води для зрошування було водосховище. Після його руйнації слід розглянути можливість використання з іригаційною метою саме підземних вод. Особливо це стосується приватних домогосподарств. Для цього необхідно оцінити придатність підземних вод для зрошування. Якість зрошувальної води може впливати на вегетацію, тим самим знижуючи ефективність сільськогосподарського виробництва (Xu et al., 2019; Snousy et al., 2022;

Samy et.al. 2023 та ін.). Метою даної роботи було оцінити придатність підземних вод різних водоносних горизонтів та комплексів для іригаційних цілей в зоні впливу Каховського водосховища на прикладі території Нікопольського району, яка знаходиться в безпосередній близькості від місця підриву та може максимально відчути наслідки руйнування дамби.

Об'єкти та методи дослідження. Основним джерелом даних був звіт (Капинос Н.Н. и др., 1962). Використано дані щодо складу вод 360 свердловин, пробурених на різні водоносні горизонти та комплекси: 182 набори даних для комплексу у четвертинних відкладах ($Q_e + Q_{ed}$); 77 наборів даних для комплексу у неогенових відкладах ($N_2P + N_1S$); 20 наборів даних для комплексу у палеогенових відкладах ($Pg_3hr + Pg_2b$); та 81 набір даних для горизонту у кристалічних породах. Дані включали концентрації основних катіонів (кальцію, магнію, калію та натрію) та основних аніонів (хлоридів, сульфатів, гідрокарбонатів). У цьому дослідженні не використовувались для аналізу величини pH та концентрації потенційних забруднювачів (нітратів, нітритів та ін). У дослідженні використано дані, опубліковані у 1962 році, тобто на час початку експлуатації водосховища і вони, частково, відображають умови його створення, тому отримані оцінки можуть слугувати базисом для порівняння впливу варіантів стратегій відновлення (або не відновлення) водосховища.

Проблема оцінки придатності використання підземних вод для зрошення гостро постає в аридних регіонах, таких як Іран (наприклад, Aghazadeh et al., 2017 та ін.), Нігерія (наприклад, Ikpi et al., 2024 та ін.), Індія (наприклад, Raju, 2007 та ін.), Єгипет (наприклад, Samy et al., 2022 та ін.), Китай (наприклад, Xu et al., 2019 та ін.).З цією метою було розроблено та успішно використовується значна кількість коефіцієнтів (Xu et al., 2019; Samy et al., 2022; Ikpi et al., 2024): *Na%, SAR, RSC, MH, PI, KR, PS* та інші. У даному дослідженні використані лише деякі з них, а саме N*a%* (відсоток натрію, percent sodium), *SAR* (коефіцієнт адсорбції натрію, Sodium Adsorption Ratio,), *PS* (потенційна солоність, potential salinity), *MH* (коефіцієнт магнієвої небезпеки (Magnesium Ratio, Magnesium Hazard), *K* (Коефіцієнт шкідливості, Synthetic Harmful Coefficient) і *Ka* (Іригаційний коефіцієнт, Irrigation Coefficient). Більш детальний опис цих коефіцієнтів та критеріїв оцінки за ними наведені нижче. У подальших викладеннях концентрації всіх компонентів води, які використовуються для обчислення критеріїв використовуються у розмірності мекв/л.

Результати та обговорення. Важливими параметрами для оцінки придатності підземних вод для сільськогосподарського використання є такі показники, як коефіцієнт поглинання натрію (*SAR*), відсоток натрію (*%Na*).

Висока концентрація Na у воді є небажаною через адсорбцію Na на катіонообмінних центрах компонентів ґрунтів , дисперсію ґрунтових агрегатів та зниження проникності ґрунту (Aghazadeh et al., 2017; Xu et al., 2019; Snousy et al., 2022 та ін.). У даному дослідженні для оцінки натрієвої загрози використані два показники: відсоток натрію (percent sodium, %Na) та коефіцієнт адсорбції натрію (Sodium Adsorption Ratio, SAR).

Відсоток натрію (percent sodium, %Na)

Відсоток натрію (*%Na*) обчислюється за формулою (Xu et al., 2019; Snousy et al., 2022; Samy et.al. 2023 та ін.):

$$\%Na = \frac{Na^+ + K^+}{Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+} \times 100$$

Для оцінки якості вод за допомогою коефіцієнту *%Na* використовують наступні критерії (Xu et al., 2019; Snousy et al., 2022; Samy et.al. 2023 та ін.): $\%Na < 20$ – чудова; $20 < \%Na < 40$ – гарна; $40 < \%Na < 60$ – придатна; $60 < \%Na < 80$ – сумнівна; $\%Na > 80$ – непридатна.

Як видно з рис.1(а). більшість вод усіх водоносних комплексів (за винятком водоносного комплексу у палеогенових відкладах, де переважають води сумнівної якості)

відносяться до класів «чудова», «гарна» та «придатна», причому два останні класи домінують.

Коефіцієнт адсорбції натрію (Sodium Adsorption Ratio, SAR)

Коефіцієнт адсорбції натрію *SAR* обчислюється за формулою (Xu et al., 2019; Snousy et al., 2022; Samy et.al. 2023 та ін.):

$$SAR = \frac{Na^{+}}{\sqrt{(Ca^{2+} + Mg^{2+} / 2)}}$$

Для оцінки якості вод за допомогою коефіцієнту *SAR* використовують наступні критерії (Xu et al., 2019; Snousy et al., 2022; Samy et.al. 2023 та ін.): $SAR < 10$ – чудова; $10 < SAR < 18$ – гарна; $18 < SAR < 26$ – сумнівна; $SAR > 26$ – непридатна.

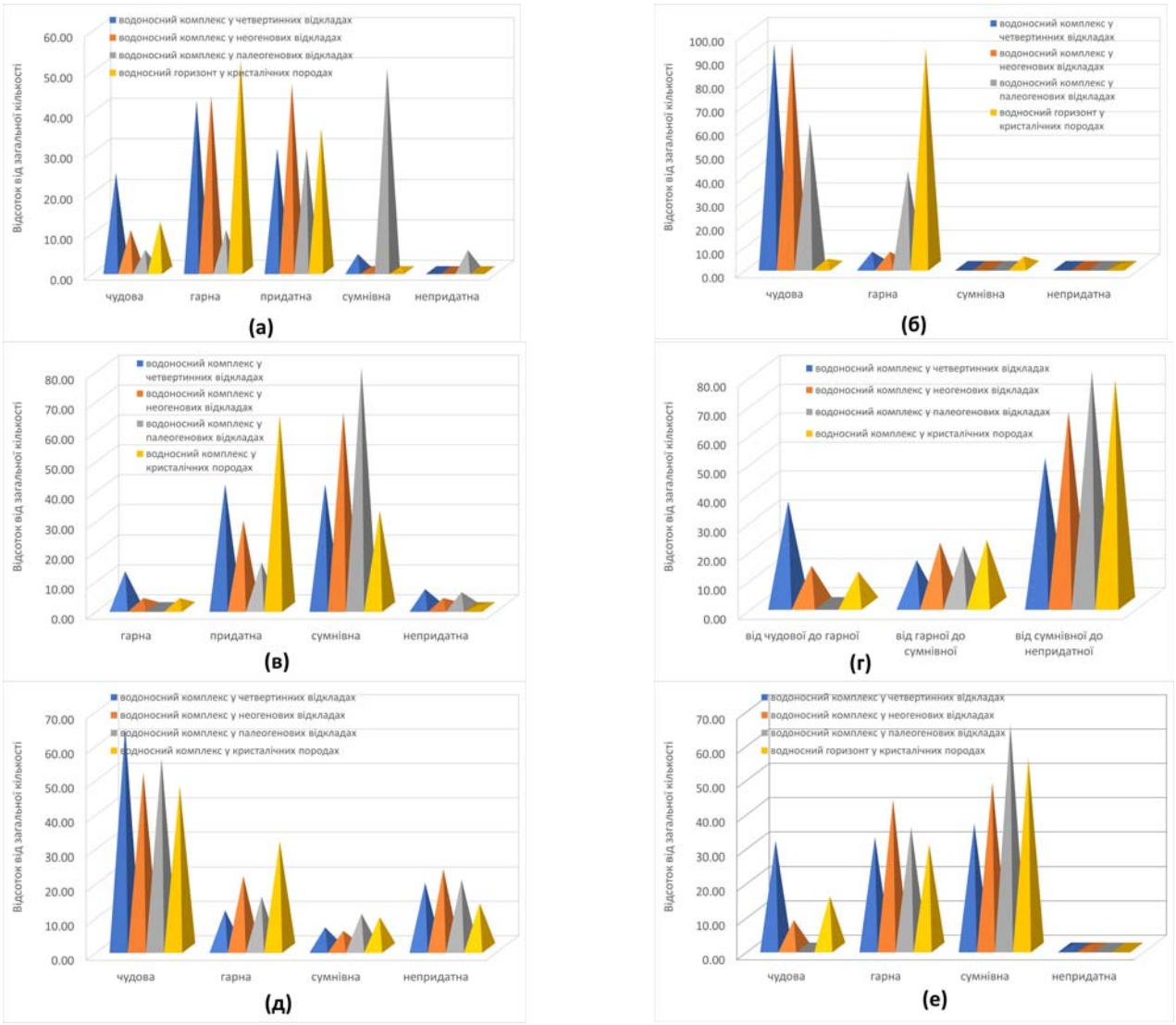


Рис. 1. Розподіл вод водоносних комплексів за якістю: (а) за коефіцієнтом *%Na*; (б) за коефіцієнтом *SAR*; (в) за коефіцієнтом *MH*; (г) за коефіцієнтом *PS*; (д) за коефіцієнтом *K*; (е) за коефіцієнтом *Ka*

Як видно з рис.1(б), більшість вод водоносних комплексів у четвертинних та неогенових відкладах відносяться до класу «чудова». Води водоносного комплексу у палеогенових відкладах відносяться до класів «чудова» та «гарна, а води у кристалічних породах – до класу «гарна».

Коефіцієнт магнієвої небезпеки MH (Magnesium Ratio, Magnesium Hazard)

Коефіцієнт *MH* допомагає визначити домінуючий лужноземельний елемент у воді. Зазвичай, кальцій і магній у більшості вод перебувають у стані динамічної рівноваги. При

порушенні цієї рівноваги надлишок магнію негативно впливає на врожайність. *MH* вказує на потенційний ступінь пошкодження структури ґрунту, спричиненого магнієм у зрошувальній воді. Високі концентрації Mg^{2+} у ґрунтових водах призводять до збільшення лужності ґрунту. Крім того, велика кількість води адсорбується між частинками магнію та глини, що призводить до зниження проникності ґрунту, а це негативно впливає на врожайність сільськогосподарських культур (Snousy et al., 2022). Коефіцієнт *MH* обчислюється за формулою (Xu et al., 2019; Snousy et al., 2022; Samy et.al. 2023 та ін.):

$$MH = \frac{Mg^{2+}}{Mg^{2+}+Ca^{2+}} \cdot 100$$

Для оцінки якості вод за допомогою коефіцієнту *MH* використовують наступні критерії (Xu et al., 2019; Snousy et al., 2022; Samy et.al. 2023 та ін.): $MH < 25$ – гарна; $25 < MH < 50$ – придатна; $50 < MH < 75$ – сумнівна; $MH > 75$ – непридатна.

Як видно з рис.1(в), води гарної якості практично відсутні в усіх розглянутих водоносних комплексах. Основним класами є води придатної та сумнівної якості. У всіх водоносних комплексах є незначна кількість вод непридатної якості (за винятком вод у кристалічних у породах). Аналіз просторового розподілу вод за цим критерієм показав, що для комплексів у четвертинних відкладах та у кристалічних породах не можна виділити чіткої зональності розподілу різних класів вод. Для вод комплексу в неогенових відкладах (рис. 2(а)) спостерігається певне скупчення вод сумнівної якості на правому березі водосховища вище за течією біля м. Марганець та нижче за течією від м. Нікополь.

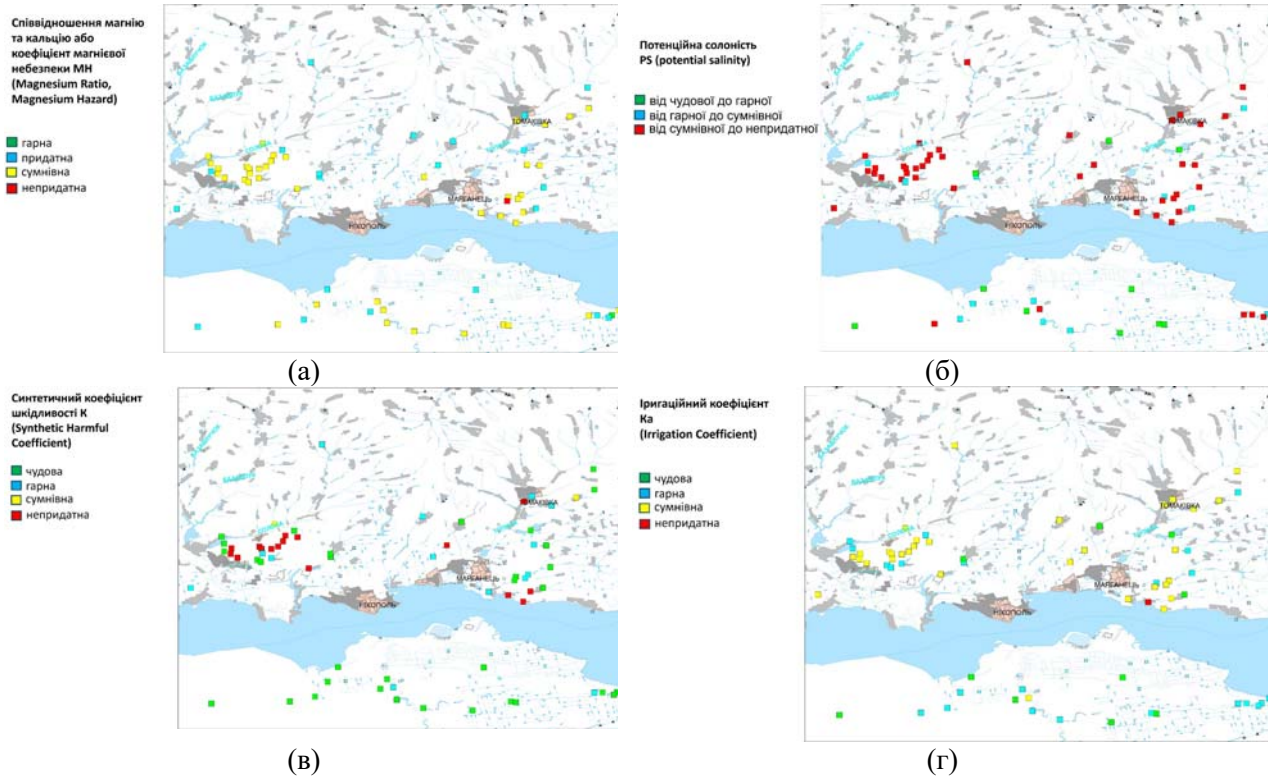


Рис. 2. Просторовий розподіл вод водоносного комплексу у неогенових відкладах: (а) за критерієм *MH*; (б) за критерієм *PS*; (в) за критерієм *K*; за критерієм K_a

Потенційна солоність PS (potential salinity)

Збільшення потенційної солоності (*PS*) є функцією розчиненого хлориду та сульфату (мекв/л) у воді для зрошення. Підвищення величин PS вказує на можливе збільшення осмотичного тиску у ґрунті, що значно впливає на поглинання корінням рослин води з ґрунту та пошкоджує кореневу систему (Xu et al., 2019; Snousy et al., 2022; Samy et.al. 2023 та ін.). *PS* обчислюється наступним чином:

$$PS = Cl^- + 0{,}5 \cdot SO_4^{2-}$$

Для оцінки якості вод за допомогою коефіцієнту потенційної солоності *PS* використовують наступні критерії (Xu et al., 2019; Snousy et al., 2022; Samy et.al. 2023 та ін.).: $PS < 3.0$ – від чудової до гарної; $3.0 < PS < 5.0$ – від гарної до сумнівної; $PS > 5.0$ – від сумнівної до непридатної.

Як видно з рис.1(г), більшість вод усіх водоносних комплексів відноситься до класу «від сумнівної до не приданої». Ця закономірність дещо порушується у водах четвертинного комплексу, помітна частка яких (35%) відноситься до класу «від чудової до гарної». Аналіз просторового розподілу вод за цим критерієм показав (рис.2(б), що для водоносного комплексу у неогенових відкладів спостерігається певне скупчення вод поганої якості на правому березі водосховища вище за течією біля м. Марганець та нижче за течією від м. Нікополь. Аналогічний просторовий розподіл спостерігається і для вод у четвертинних відкладах. Для вод горизонту у кристалічних породах закономірності не простежуються.

Коефіцієнт шкідливості K (Synthetic Harmful Coefficient)

Коефіцієнт шкідливості K одночасно враховує сольову та лужну небезпеку (Xu et al., 2019). Він був запропонований Zhou із співавторами у 2009 році та за обчислюється за формуловю:

$$K = 12.4TDS + SAR$$

Де: TDS – загальна концентрація розчинених речовин (total dissolved solids).

Для оцінки якості вод за допомогою синтетичного коефіцієнту шкідливості K використовують наступні критерії (Xu et al., 2019): $K < 25$ – чудова; $25 < K < 36$ – гарна; $36 < K < 44$ – сумнівна; $K > 44$ – непридатна.

Слід зазначити, що результати оцінки за цим методом слід розглядати як консервативні, оскільки він дещо покращує показник якості води (Xu et al., 2019).

Як видно з рис.1(д), більшість вод усіх водоносних комплексів відноситься до класів «чудова» та «гарна». Проте, доволі суттєвий внесок (від 13 до 23%) мають води класу «непридатна», хоча ця оцінка розуміє під собою максимально лояльну оцінку якості. Аналіз просторового розподілу вод показав, що води високої якості зосереджені на лівому березі водосховища. На правому березі більш високої якості води четвертинного водоносного комплексу та комплексу у кристалічних породах більше зосереджені вздовж берегової лінії водосховища. Для комплексу у неогенових відкладах спостигається скупчення вод дуже низької якості вище за течією біля м. Марганець та нижче за течією від м. Нікополь (рис.2(в)).

Іригаційний коефіцієнт Ka (Irrigation Coefficient)

Іригаційний коефіцієнт K_a був запропонований Zhou із співавторами у 2009 році на основі результатів дослідження впливу лужних розчинів та натрієвої солі на 40 видів сільськогосподарських культур (Xu et al., 2019) та обючислюється за формулою:

$$K_a = \begin{cases} \dfrac{288}{5 \times Cl^-} & \text{якщо } Cl^- < Na^+ \\ \dfrac{288}{Na^+ + 4 \times Cl^-} & \text{якщо } Cl^- < Na^+ < Cl^- + 2 \times SO_4^{2-} \\ \dfrac{288}{10 \times Na^+ - 5 \times Cl^- - 9 \times SO_4^{2-}} & \text{якщо } Na^+ > Cl^- + 2 \times SO_4^{2-} \end{cases}$$

Для оцінки якості вод за допомогою іригаційного коефіцієнту K_a використовують наступні критерії (Xu et al., 2019): $K_a > 18$ – чудова; $6 < K_a < 18$ – гарна; $1{,}2 < K_a < 6$ – сумнівна; $K_a > 1{,}2$ – непридатна.

Як видно з рис.1(е), більшість вод усіх водоносних комплексів відноситься до класів «сумнівна» (36-65%) та «гарна» (0-31%). Води непридатної якості в усіх водоносних комплексах відсутні. Аналіз просторового розподілу вод показав, що води високої якості за критеріями *K* та K_a зосереджені на лівому березі водосховища. На правому березі більш високої якості води четвертинного водоносного комплексу та комплексу у кристалічних породах більше зосереджені вздовж берегової лінії водосховища. Для комплексу у

неогенових відкладах спостигається скупчення вод дуже низької якості вище за течією біля м. Марганець та нижче за течією від м. Нікополь (рис.2(в), 2(г)).

Висновки. Встановлено, що для комплексу у неогенових відкладах спостигається скупчення вод низької якості вище за течією біля м. Марганець та нижче за течією від м. Нікополь за такими критеріями: коефіцієнт магнієвої небезпеки *MH* , потенційна солоність *PS*, коефіцієнт шкідливості *K*; іригаційний коефіцієнт K_a. Оскільки у дослідженні використані дані, на час початку експлуатації водосховища і вони часткового включають дані що до його створення, то отримані оцінки можуть слугувати базисом для порівняння впливу варіантів стратегій його відновлення (або не відновлення). Для цього необхідно повторити оцінку для даних, отриманих перед підривом дамби та, хоча б частково, на сучасних даних. Води однієї свердловини одного водоносного комплексу за одними критеріями є придатними, за іншими – непридатними. Остаточне рішення щодо придатності має прийматися з урахуванням особливостей сільськогосподарських культур, типу ґрунтів, температурного режиму. Необхідно шукати узагальнений показник, що планується робити у подальшому.

Подяки

Робота виконана в рамках договору «Дослідження впливу руйнування Каховської ГЕС та знищення Каховського водосховища на водогосподарський баланс басейну Дніпра».

Список використаних джерел:

Капинос Н.Н. Отчёт о геологогидрогеологической съёмке листа L-36-V (Никополь) масштаба 1:200000. Днепропетровск. 1962. (ДНВП “Геоінформ України” Ф. 22361

Aghazadeh, N., Chitsazan, M., & Golestan, Y. (2017). Hydrochemistry and quality assessment of groundwater in the Ardabil area, Iran. *Appl Water Sci.*, 7, 3599–3616. https://doi.org/10.1007/s13201-016-0498-9

Ikpi, G.E., Nganje, T.N., Edet, A., Adamu, C.I., & Eyong, G.A. (2024). Investigation of hydrochemical characteristic, water quality and associated health risks of metals and metalloids in water resources in the vicinity of Akamkpa quarry district, southeastern, Nigeria. *Geochem Trans*., 12, 25(1). https://doi.org/10.1186/s12932-024-00090-y

Raju, N.J. (2007). Hydrogeochemical parameters for assessment of groundwater quality in the upper Gunjanaeru River basin Cuddapah District Andhara Pradesh South India. *Environ Geol*., 52, 1067–1074. https://doi.org/10.1007/s00254-006-0546-0

Samy, A., Eissa, M., & Shahen, S. S. (2024). Solute transport and geochemical modeling of the coastal quaternary aquifer, Delta Dahab Basin, South Sinai, Egypt. *Acta Geochim*., 43, 16–39. https://doi.org/10.1007/s11631-023-00637-3

Snousy, M.G., Wu, J., & Su, F. (2022). Groundwater Quality and Its Regulating Geochemical Processes in Assiut Province, Egypt. *Expo Health*., 14, 305–323. https://doi.org/10.1007/s12403-021-00445-1

Xu, P., Feng, W., Qian, H., Zhang, Q. 2019. Hydrogeochemical Characterization and Irrigation Quality Assessment of Shallow Groundwater in the Central-Western Guanzhong Basin, China. *Int J Environ Res Public Health*., 16(9), 1492. https://doi.org/10.3390/ijerph16091492

References

Kapinos, N.N. Report on the Geological and Hydrogeological Survey of Sheet L-36-V (Nikopol) at a scale of 1:200,000. Dnipropetrovsk. 1962. (Dnipropetrovsk State Enterprise “Geoinform of Ukraine,” File No. 22361) (in Russian)

Aghazadeh, N., Chitsazan, M., & Golestan, Y. (2017). Hydrochemistry and quality assessment of groundwater in Aghazadeh, N., Chitsazan, M., & Golestan, Y. (2017). Hydrochemistry and quality assessment of groundwater in the Ardabil area, Iran. *Appl Water Sci.*, 7, 3599–3616. https://doi.org/10.1007/s13201-016-0498-9

Ikpi, G.E., Nganje, T.N., Edet, A., Adamu, C.I., & Eyong, G.A. (2024). Investigation of hydrochemical characteristic, water quality and associated health risks of metals and metalloids in water resources in the vicinity of Akamkpa quarry district, southeastern, Nigeria. *Geochem Trans*., 12, 25(1). https://doi.org/10.1186/s12932-024-00090-y

Raju, N.J. (2007). Hydrogeochemical parameters for assessment of groundwater quality in the upper Gunjanaeru River basin Cuddapah District Andhara Pradesh South India. *Environ Geol*., 52, 1067–1074. https://doi.org/10.1007/s00254-006-0546-0

Samy, A., Eissa, M., & Shahen, S. S. (2024). Solute transport and geochemical modeling of the coastal quaternary aquifer, Delta Dahab Basin, South Sinai, Egypt. *Acta Geochim*., 43, 16–39. https://doi.org/10.1007/s11631-023-00637-3

Snousy, M.G., Wu, J., & Su, F. (2022). Groundwater Quality and Its Regulating Geochemical Processes in Assiut Province, Egypt. *Expo Health*., 14, 305–323. https://doi.org/10.1007/s12403-021-00445-1

Xu, P., Feng, W., Qian, H., Zhang, Q. (2019). Hydrogeochemical Characterization and Irrigation Quality Assessment of Shallow Groundwater in the Central-Western Guanzhong Basin, China. *Int J Environ Res Public Health*., 16(9), 1492. https://doi.org/10.3390/ijerph16091492

УДК 504.4:556.5

ЗАВИСЛА РЕЧОВИНА ЯК НОСІЙ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У РІЧКОВІЙ СИСТЕМІ ДУНАЮ: СЕЗОННА МІНЛИВІСТЬ ТА ФАКТОРИ ВПЛИВУ

Насєдкін Є.*[1,2]*, *к. геол. н., старший дослідник,*
ORCID ID0000-0003-2633-9291, nasedevg@ukr.net,
Гаврилюк Р.*[2,1]*, *к. геол. н., старший дослідник,*
ORCID ID0000-0002-6465-9440, gavrilyuk.ruslan@gmail.com,
Іванова Г.*[1]*, *к. геол. н., ORCID ID0000-0002-5012-1084, a_1207@ukr.net,*
Nina-Nicoleta Lazăr*[3]*, *ORCID ID0000-0002-7182-8820, nina.condurache@ugal.ro,*
Mădălina Călmuc*[3]*, *ORCID ID0000-0002-7834-4503, Madalina.Calmuc@ugal.ro,*
Mihaela Timofti*[3]*, *ORCID ID 0000-0003-2876-9500, mihaela.timofti@ugal.ro,*
1 – Інститут геологічних наук Національної академії наук України, м. Київ, Україна,
2 – Національний екологічний центр України, Київ, Україна,
3 – Дослідницька інфраструктура REXDAN, Університет «Нижній Дунай» Галатського університету

Проаналізовано ряди даних (січень-липень 2025 р) низки показників системи моніторингу завислих речовин в Нижньому Дунаї (інтенсивність їх накопичення в седиментаційних пастках, гранулометричний склад, вміст окремих металів) із залученням інформації щодо розподілу стоку та завислої компоненти на гідрологічних постах. Отримані результати дозволяють припустити, що гранулометричний склад завісі не є єдиним фактором, який контролює розподіл металів - виявлена відсутність однозначного зв'язку з пелітовою фракцією може бути зумовлена комплексною дією низки інших природних факторів. Концентрації металів у завислій речовині Дунаю пов'язані із загальною кількістю завислого матеріалу, однак не визначаються лише його розмірністю. При цьому взаємні кореляції між металами є значно виразнішими, ніж їхні зв'язки з часткою пелітової фракції, що може свідчити про наявність спільних факторів контролю їх сезонної динаміки.

Ключеві слова: завислa речовина, важкі метали, седиментаційні пастки, річковий стік, Нижній Дунай.

SUSPENDED MATTER AS A CARRIER OF HEAVY METALS IN THE DANUBE RIVER SYSTEM: SEASONAL VARIABILITY AND INFLUENCING FACTORS

Nasedkin Ye.*[1,2]*, *PhD (Geol.), Senior Researcher,*
ORCID ID0000-0003-2633-9291, nasedevg@ukr.net,
Havryliuk R.*[2,1]*, *PhD in geology, Senior Researcher,*
ORCID ID0000-0002-6465-9440, gavrilyuk.ruslan@gmail.com,
Ivanova G.*[1]*, *PhD (Geol.), ORCID ID0000-0002-5012-1084, a_1207@ukr.net,*
Nina-Nicoleta Lazăr*[3]*, *ORCID ID0000-0002-7182-8820, nina.condurache@ugal.ro,*
Mădălina Călmuc*[3]*, *ORCID ID0000-0002-7834-4503, Madalina.Calmuc@ugal.ro,*
Mihaela Timofti*[3]*, *ORCID ID 0000-0003-2876-9500, mihaela.timofti@ugal.ro,*
1 – Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine,
2 – National Ecological Center of Ukraine, Kyiv, Ukraine,
3 – REXDAN Research Infrastructure, 'Dunărea de Jos' University of Galati, Galati, Romania

The data series (January–July 2025) for a range of parameters within the suspended matter monitoring system in the Lower Danube were analyzed, including the rate of suspended matter accumulation in sediment traps, grain-size composition, and the concentrations of selected metals, together with information on the distribution of river discharge and the suspended component at hydrological gauging stations.

The results suggest that the grain-size composition of suspended matter is not the sole factor controlling the distribution of metals. The absence of an unambiguous relationship with the pelitic fraction may be attributed to the combined influence of several other natural factors. Metal concentrations in the suspended matter of the Danube are related to the total amount of suspended material but are not determined solely by particle size. At the same time, the

mutual correlations between metals are considerably more pronounced than their relationships with the proportion of the pelitic fraction, which may indicate the presence of common factors controlling their seasonal dynamics.
Keywords: suspended matter, heavy metals, sediment traps, river discharge, Lower Danube.

Вступ. Гірничодобувна діяльність є одним із джерел надходження потенційно токсичних елементів до поверхневих вод. Виробничі об'єкти, відвали порід і хвостосховища формують техногенні масиви, з яких унаслідок ерозії та поверхневого стоку металовмісна тверда речовина може залучатися до річкового перенесення. Значна частина металів при цьому зв'язується з дисперсними мінеральними та органомінеральними частинками, тому їх міграція значною мірою визначається гранулометричним і мінеральним складом завислої речовини, умовами її транспортування та формами зв'язування металів.

Особливе значення це має для транскордонного басейну Дунаю, верхня частина якого охоплює райони з тривалою історією гірничодобувної діяльності. У басейнах Тиси, Сомешу та їхніх приток, зокрема в районі Марамурешу, тривала розробка родовищ Cu–Pb–Zn та Au–Ag супроводжувалася формуванням значних обсягів відвальної та хвостової речовини. Дослідження руслових відкладів Лапушу, Сомешу і Тиси показали значне техногенне збагачення металами та просторову трансформацію форм їх знаходження (Bird et al., 2003). У басейні Лапушу безпосередньо нижче рудника Băiuț максимальні концентрації в донних відкладах досягали 24 500 мг/кг Cu, 21 100 мг/кг Pb та 23 000 мг/кг Zn. При цьому вниз за течією змінювалося співвідношення геохімічних форм металів: поблизу джерела вони значною мірою були пов'язані із сульфідною та залишковою фракціями, тоді як далі зростала частка більш мобільних форм.

Показовим прикладом транскордонного перенесення техногенної речовини стала аварія на хвостосховищі підприємства Aurul поблизу Baia Mare 30 січня 2000 року (Spill of liquid…, 2000). Внаслідок руйнування дамби близько 100 000 м³ води та суспендованої речовини, що містили ціаніди та важкі метали, потрапили до системи Săsar–Lăpuș–Someș–Tisa і далі до Дунаю. Подія продемонструвала можливість швидкого перенесення забруднювальної речовини на значні відстані в межах єдиної річкової системи.

Гірничі райони залишаються потенційними джерелами металовмісної речовини і після припинення активного видобування. Так, сучасне дослідження басейну річки Cavnic у північно-західній Румунії виявило підвищені концентрації Hg, Pb, Zn і Cu в алювіальних відкладах, особливо у верхній частині басейну, де зосереджені колишні гірничі виробки, відвали та хвостосховища (Lupu et al., 2026).

Отже, гірничодобувні райони верхньої частини басейну Дунаю можуть розглядатися як довготривалі джерела металовмісної твердої речовини, що залучається до річкового стоку та переноситься вниз за течією. Інтенсивність і дальність такого перенесення визначаються не лише концентраціями металів у джерелі, а й гранулометричним складом, мінеральною та органомінеральною природою частинок, гідродинамічними умовами та формами зв'язування елементів. Саме тому сезонне дослідження складу завислої речовини та його зв'язку з гранулометричними характеристиками є важливою складовою оцінювання сучасних седиментаційних потоків у транскордонних річкових системах.

Мета та методи досліджень. У 2025 році в рамках проекту «Інноваційна система управління седиментами для сталого розвитку Дунаю та Чорного моря (SUNDANSE)», започатковано експеримент з багаторічних безперервних досліджень вертикальних потоків завислих речовин за допомогою седиментаційних пасток (Nasiedkin et al., 2025). Місце досліджень та розташування устаткування – акваторія Дунаю, прилегла до м. Вилкове в районі відгалуження гирла Очаківське, де формуються сприятливі умови для досліджень седиментаційних процесів. Вивчення розподілу низки важких металів в пробах завислих седиментів є однією зі складових цих комплексних міжнаціональних досліджень. Дослідження проводяться на основі використання седиментаційних пасток - розробленого авторами устаткування для безперервного накопичення проб річкової завісі, чим забезпечується щомісячний відбір достатніх для аналізів обсягів натурної

речовини та створення відповідного ряду даних (Насєдкін, Гаврилюк, 2025; Насєдкін та ін., 2026) за низкою показників.

Залучене устаткування, за класифікацією представленою в стандарті ISO 5667-17:2008, відносяться до типу «пасивні пробовідбірники», представляючи собою седиментаційні пастки, що призначені для відбору проб завислих седиментів (рис. 1). Пробовідбірники розташовані у товщі води на глибині 1 м, де вони наповнюються речовиною в природних умовах її осідання, при цьому час експозиції уловлювачів завісі складає місяць (Nasiedkin et al., 2025).



Рис. 1. Седиментаційні пастки та процедура відбору завислої речовини (р-н Вилково)

Зразки зваженої речовини висушували відповідно до стандарту ISO 5667-15:2011, подрібнювали та гомогенізували. Наважку зразка масою приблизно 0,2 г піддавали кислотному розкладанню в мікрохвильовій системі (Milestone Ethos Easy, Італія) згідно з методом EPA 3051A, використовуючи 10 мл суміші HNO_3 (65%) та HCl (37%) у співвідношенні 1:3. Після розкладання розчини фільтрували та доводили об'єм до 50 мл дистильованою водою. Аналіз вмісту важких металів проводили методом ICP-MS (NexION 2000, PerkinElmer). Під час аналізу елементи зразка іонізували в аргоновій плазмі; отримані іони розділяли за відношенням маси до заряду (m/z) і реєстрували. Концентрації досліджуваних елементів (Cr, Ni, Cu, Zn, Cd та Pb) визначали за допомогою калібрувальних кривих, побудованих із використанням багатоелементного стандартного розчину XVI (Supelco). Аналіз виконували тричі, результати виражали відносно маси аналізованого зразка (мкг/г зваженої речовини).

Результати. На сьогодні проведено частковий аналіз ряду даних (січень-липень 2025 р), що включав такі показники, як гранулометричний склад, вміст низки металів, розподіл мас накопиченої в пастках речовини. Також для якісної інтерпретації даних залучалась інформація з державних баз даних, зокрема Держводагенства України (розподіл стоку, вміст завислих речовин, інше).

Дослідження, незважаючи на невеликий проаналізований ряд даних, засвідчили доволі неоднозначну картину. Для більшості металів помісячні показники розподілу показали загальну тенденцію згладженого зменшення концентрацій від холодного періоду до теплого (рис. 2). При цьому коефіцієнти кореляції між розподілом низки металів складають значущі величини, і складають: Ni–Zn-0,96, Zn–Cd-0,97, Ni–Cd-0,93, Cr–Pb-0,79, Ni–Pb ≈ 0,89.

Виключення в часовому розподілі складає хром з суттєвим підвищенням концентрації в березні місяці при загальній тенденції зменшення вмісту в ряду «весна-літо» та мідь, розподіл вмісту якої виявився відносно стабільним протягом періоду досліджень.

Проведений кореляційний аналіз засвідчив, що тонка фракція завісі (<0,001 – 0,01) не поводиться однаково з усіма металами (табл. 1). Зменшення дисперсності завислої речовини супроводжується підвищенням концентрацій металів, що може свідчити про їх

зворотний зв'язок із тонкодисперсною фракцією і що частка пелітової фракції сама по собі не є достатнім предиктором концентрації металів у завислій речовині.

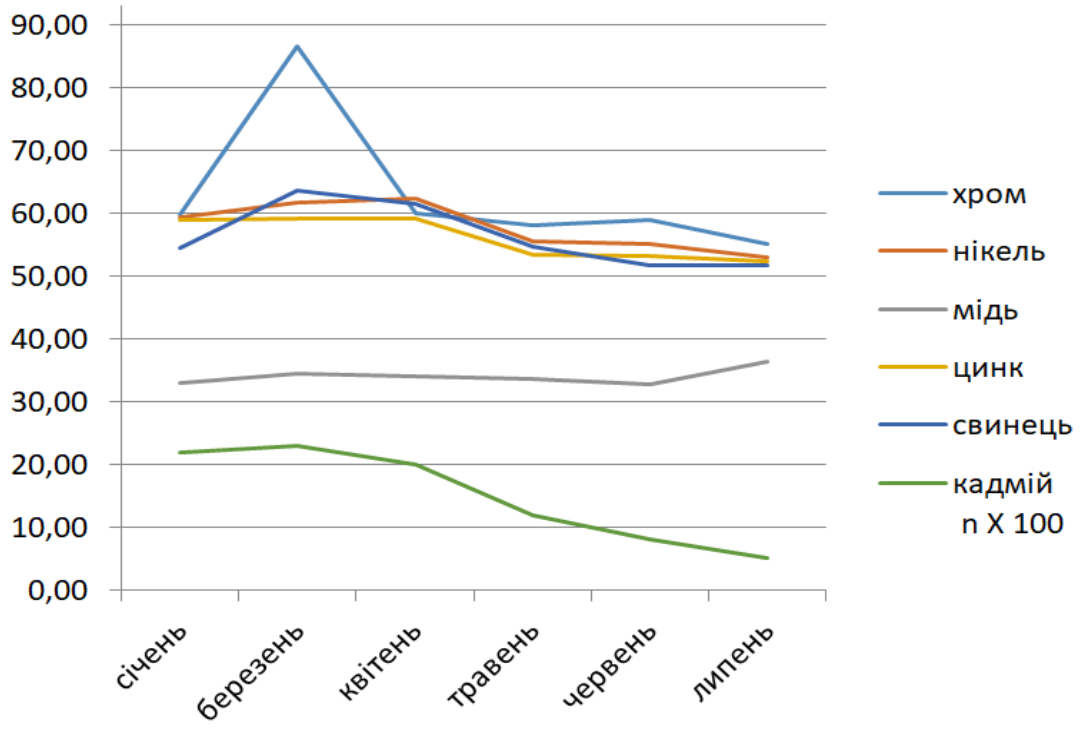


Рис. 2. Розподіл концентрацій металів (мг/кг) у складі завислої речовини, відібраної седиментаційними пастками в період січень – липень 2025 року

Таблиця 1

Кореляція досліджуваних показників з розподілом пелітової фракції

Показник	**Коефіцієнт кореляції з пелітовою складовою**
Cr	−0,57
Zn	−0,53
Ni	−0,47
Cd	−0,43
Pb	−0,34
Cu	+0,24
вміст завислих речовин, мг/дм^3	+0,39
розподіл водного стоку, м^3/с	+0,04
інтенсивність накопичення завісі в пастках, г/см^2	+0,08

Якщо вважати, що пеліт – це лише потенційна сорбційна матриця, а не безпосередній регулятор концентрації металів, то найімовірніше, на розподіл елементів накладаються кілька природних процесів, з яких найвпливовішими можуть бути особливості мінералогічного складу тонкої фракції; кількість органічної речовини та оксидів Fe/Mn; процеси гідродинамічної селекції частинок. Показовою ланкою ряду є інтервал травень → липень, де збільшення пелітової фракції не супроводжується збільшенням концентрацій металів. У травні пелітова складова сягає максимуму – 50%, не координуючись зі збільшенням вмісту металів, у липні – навпаки. Варіації вмісту досліджуваних металів у завислому матеріалі не демонструють однозначної залежності

від частки пелітової фракції. Зокрема, для Cr, Ni та Zn за дослідженим часовим рядом простежується тенденція до зворотного зв'язку з її вмістом.

Це може свідчити про те, що гранулометричний склад завісі не є єдиним фактором, який визначає концентрації металів. Ймовірно, їхній розподіл контролюється сукупною дією гранулометричних, мінералогічних, геохімічних та гідродинамічних чинників, а також різним походженням твердої речовини. Додатковою особливістю є те, що вміст завислих речовин і інтенсивність накопичення в пастках теж не зовсім узгоджені, показовим місяцем є червень із 3,2 мг/дм³ при 6 г/см², тобто виникає питання перерозподілу фракцій при відборі пастками.

Це визначило додатковий розгляд кореляційних зв’язків концентрації завислих речовин у воді із металами, що засвідчив наявність позитивних величин. Найвиразніший зв'язок – для Pb (r = 0,57), далі Cu (+0,48), Cd (+0,46), Ni (+0,44) та Zn (+0,43). Для Cr (+0,23) зв'язок виявився найслабший. Тобто на відміну від пелітової фракції речовини з седиментаційних пасток, де частина металів давала негативну кореляцію, загальна кількість завислого матеріалу краще узгоджується зі зростанням концентрацій металів. З узгодженої часової системи випадає червень, де завислі речовини складають 3,2 мг/дм³, тоді як концентрації металів залишаються досить високими.

Висновки. Дані, отримані за період спостережень показали, що збільшення концентрації завислої речовини загалом супроводжується підвищенням вмісту металів, однак цей зв'язок не є лінійним і не пояснюється лише особливостями гранулометричного складу. При тому, що метали корелюють між собою значно сильніше, ніж із гранулометричним складом завісі, вміст металів визначається не просто її масою, а вірогідно якістю/походженням частинок та формою знаходження досліджуваних елементів. Спільна сезонна динаміка металів має інший факторний контроль, ніж проста зміна частки тонкодисперсної фракції. Для більшості елементів простежується загальна тенденція до зниження концентрацій від холодного до теплого періоду. Це вказує на узгоджену сезонну динаміку цих елементів і можливість спільного контролю їх розподілу певними природними або гідродинамічними чинниками. Водночас через невеликий обсяг вибірки отримані залежності слід розглядати як попередні.

Сезонна мінливість металів у завислій речовині визначається сукупною дією гранулометричних, мінералогічних, геохімічних та гідродинамічних чинників. Подальше накопичення щомісячних даних, доповнення їх показниками мінерального та органічного складу, а також форм знаходження металів дозволить уточнити механізми їхнього перенесення у річковій системі Дунаю. Одночасно, дані мають попередній характер у зв'язку з обмеженим періодом аналізу та потребують перевірки на розширеному багаторічному ряді спостережень.

Список використаних джерел:

Насєдкін Є. І., Гаврилюк Р. Б. (2025). Виклики у сфері моніторингу седиментів в Україні в контексті євроінтеграційних вимог (на прикладі басейну Дунаю). *Український географічний журнал*. 3 (131), 41–50. https://doi.org/10.15407/ugz2025.03.041

Насєдкін Є.І., Гаврилюк Р.Б, Довбиш С.М. Патент на корисну модель «Пристрій для встановлення седиментаційних пасток у водному середовищі» № 162544, дата реєстрації 01.04.2026.

Bird, G., Brewer, P. A, Macklin, M.G., Balteanu, D., Driga, B., Serban, M., Zaharia, S. (2003). The solid state partitioning of contaminant metals and As in river channel sediments of the mining affected Tisa drainage basin, northwestern Romania and eastern Hungary. *Applied Geochemistry*, 18 (10), 1583-1595. https://doi.org/10.1016/S0883-2927(03)00078-7.

Lupu, A., Damian, G., Maftei, A.E., Buzatu, A., Bereș, I. (2026). Geochemical assessment of potentially toxic elements in river sediments from a highly contaminated mining area - Cavnic, Romania. *Marine Pollution Bulletin*. 229, 119678. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2026.119678.

Nasiedkin Ye. I., Havryliuk R. B., Ivanova G. M., Fedoseenkov S. G., Shundel O. I., Goncharov O. Yu. (2025). Sediment traps as a tool for studying river suspended matter in water quality control and sediment management. Proceedings of the 18th International Conference “Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment”, 1–5. European Association of Geoscientists & Engineers. https://doi.org/10.3997/2214-4609.2025510045.

Spill of liquid and suspended waste at the Aurul S.A. retreatment plant in Baia Mare : Assessment Mission [to] Romania, Hungary, Federal Republic of Yugoslavia. (2000). *Report. UNEP; UN. Office for the Coordination of Humanitarian Affairs.*

References

Bird, G.,. Brewer, P. A, Macklin, M.G., Balteanu, D., Driga, B., Serban, M., Zaharia, S. (2003). The solid state partitioning of contaminant metals and As in river channel sediments of the mining affected Tisa drainage basin, northwestern Romania and eastern Hungary. *Applied Geochemistry*, 18 (10), 1583-1595. https://doi.org/10.1016/S0883-2927(03)00078-7.

Lupu, A., Damian, G., Maftei, A.E., Buzatu, A., Bereș, I. (2026). Geochemical assessment of potentially toxic elements in river sediments from a highly contaminated mining area - Cavnic, Romania. *Marine Pollution Bulletin*. 229, 119678. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2026.119678.

Nasiedkin, Ye. I., Havryliuk, R. B. (2025). Challenges in the Field of Sediment Monitoring in Ukraine in the Context of European Integration Requirements (Using the Danube Basin as an Example). *Ukrainian Geographical Journal*, 3 (131), 41–50. https://doi.org/10.15407/ugz2025.03.041. [in Ukrainian].

Nasiedkin Ye. I., Havryliuk R. B., Ivanova G. M., Fedoseenkov S. G., Shundel O. I., Goncharov O. Yu. (2025). Sediment traps as a tool for studying river suspended matter in water quality control and sediment management. Proceedings of the 18th International Conference “Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment”, 1–5. European Association of Geoscientists & Engineers. https://doi.org/10.3997/2214-4609.2025510045.

Nasedkin Ye.I., Havryliuk R.B., Dovbysh S.M. Utility model patent "Device for deploying sedimentation traps in an aquatic environment" No. 162544, registration date 01.04.2026. [in Ukrainian].

Spill of liquid and suspended waste at the Aurul S.A. retreatment plant in Baia Mare : Assessment Mission [to] Romania, Hungary, Federal Republic of Yugoslavia. (2000). *Report. UNEP; UN. Office for the Coordination of Humanitarian Affairs.*

УДК 556.3:550.8.02(234.421.1)

ОПТИМІЗАЦІЇ РЕСУРСНИХ ВИТРАТ ПРИ РОЗВІДУВАЛЬНИХ ГІДРОГЕОЛОГІЧНИХ ВИШУКУВАННЯХ (НА ПРИКЛАДІ ВІДОКРЕМЛЕНОГО МАСИВУ ТРІЩИННИХ ВОД, ОБМЕЖЕНОГО ЕРОЗІЙНИМИ ВРІЗАМИ, У СКИБОВІЙ ЗОНІ КАРПАТ)

Павлюк В.І.[1,2]*, асистент, к. геол. н., notebooc@gmail.com,*
Яремович М.В.[2]*, mishayaremovich@gmail.com;*
Бурлуцький М.С.[3]*, Nikolay2205@i.ua,*
1 – ЛНУ імені Івана Франка, Львів, Україна,
2 – «ТзОВ «Геол-тех», Львів, Україна,
3 – Державної служби геології та надр України, Київ, Україна

На прикладі проведеного розвідувального буріння підземних вод тріщинувато-блокового типу у Скибовій зоні Карпат показано результативність виконаних попередніх аналітичних досліджень, що призвело до суттєвої економії ресурсних витрат на спорудження водозабору.

Ключові слова: водоносний горизонт, Скибова зона, свердловина, тріщинуватість, структура, спаська світа.

OPTIMIZATION OF RESOURCE EXPENDITURE IN EXPLORATORY GEOLOGICAL AND HYDROGEOLOGICAL SURVEYS (A CASE STUDY OF AN ISOLATED FRACTURED-ROCK GROUNDWATER MASSIF BOUNDED BY EROSIONAL INCISIONS, SKYBA ZONE OF THE CARPATHIANS)

Pavliuk V.[1,2]***,*** *assistant, Cand. Sci. (Geol.), notebooc@gmail.com;*
Yaremovych M.[2]***,*** *mishayaremovich@gmail.com;*
Burlutskyi M.[3]***,*** *Nikolay2205@i.ua,*
1 – Ivan Franko National University of Lviv, Lviv, Ukraine,
2 – "Geol-Tech" LLC, Lviv, Ukraine,
3 – State Geological Control, State Service of Geology and Subsoil of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Using the case of exploratory drilling carried out on a fractured-block type groundwater in the Skyba Zone of the Carpathians, the study demonstrates the effectiveness of the preliminary analytical investigations performed, which resulted in a substantial reduction of resource expenditure on the construction of the water intake facilites.

Keywords: aquifer, Skyba Zone, borehole, fracturing, structure, Spas Formation.

Вступ. Враховуючи глобальні кліматичні зміни, ми щораз частіше стикаємося з викликами достатнього та якісного водозабезпечення водними ресурсами життєдіяльності населення України. Йдеться не лише про поступове зростання середньорічних температур, але й про суттєву перебудову режиму атмосферного зволоження значних територій: збільшення частки зливових опадів за одночасного скорочення тривалості періодів рівномірного випадання, зміщення строків снігонакопичення та танення снігового покриву, подовження посушливих періодів у теплу пору року. Наслідком цих процесів є зростання поверхневого стоку та випаровування, що формує зменшення інфільтраційного живлення, що безпосередньо впливає на баланс підземних вод.

Дослідження свідчать про системне пониження рівнів підземних водоносних горизонтів, виснаження чи пересихання поверхневих водойм та водотоків. Ця тенденція фіксується не епізодично, а має ознаки багаторічної спрямованої зміни, яка охоплює цілі гідрогеологічні структури й підтверджується даними режимних спостережень. Особливе занепокоєння викликає той факт, що пониження рівнів простежується і в горизонтах, які традиційно вважалися надійно захищеними та стабільними за своїми ресурсними характеристиками. Паралельно погіршуються якісні показники води — зростає мінералізація, збільшується вміст сполук азоту та інших забруднювачів, що звужує коло джерел придатних для господарсько-питного використання.

В таких умовах особливо актуальним стає раціональне використання цих ресурсів, яке не буде ефективним без усестороннього вивчення умов формування водних ресурсів та їх транзиту. Раціоналізація водокористування потребує наукового обґрунтування, побудованого на розумінні джерел живлення, шляхів фільтрації, зон розвантаження та часу перебування води у водоносній системі. Саме тому дослідження умов формування й транзиту водних ресурсів набуває не лише теоретичного, але й прикладного значення для планування водогосподарської діяльності.

Карпатська гірсько-складчаста система є унікальною структурою за своєю будовою по відношенню до інших регіонів України. Її специфіка визначається складною насувною тектонікою, значною дислокованістю порід, розвиненою системою розломів і насувів, а також суттєвою літологічною неоднорідністю розрізу. Тут поєднується два різнофакторних за своїм результатом чинника, дія яких є протилежно спрямованою і формує своєрідний парадокс регіональної гідрогеології. Перше те, що за умовами просторового розміщення та геоморфологічної будови, тут фіксуються найвищі показники сумарних річних опадів. Орографічний бар'єр Карпат зумовлює інтенсивне підняття вологих повітряних мас і їх конденсацію, унаслідок чого, річні суми опадів у гірській частині істотно перевищують показники рівнинних територій країни. Формально це мало б забезпечувати регіону виняткові умови водного живлення. З іншого боку, у комплексі дочетвертинних відкладів ми маємо незначні ресурсні спроможності існуючих та перспективних запасів прісних вод. У більшості випадків, флішові товщі з характерним чергуванням пісковиків, аргілітів і алевролітів вирізняються низькими показниками ефективної пористості та проникності, що обмежує можливість накопичення значних об'ємів води. Водоносність тут значною мірою пов'язана з тріщинуватістю та зонами приповерхневого вивітрювання, які мають локальне поширення і швидко реагують на сезонні коливання зволоження. Високі кути поверхневого стоку на схилах гір збільшують швидкість поверхневих потоків, а отже і зменшують час для можливості спокійного інфільтрування в масиви гірських порід. Крутизна схилів у межах Карпатської гірсько-складчастої системи нерідко сягає значень, за яких гравітаційна складова руху води істотно переважає над силами, що сприяють її затриманню на поверхні. Скорочення часу контакту води з поверхнею масиву безпосередньо зменшує обсяг інфільтраційного живлення підземних вод. Ситуацію ускладнює характер самих опадів. Переважаючий зливовий тип випадання, частка якого зростає в умовах кліматичних змін, подає на схил великі об'єми води за короткий проміжок часу — часто зі швидкістю, що перевищує інфільтраційну здатність ґрунтів. Утворюється так званий надлишковий стік, коли навіть за наявності сприятливих фільтраційних властивостей порід вода фізично не встигає поглинутися. Додатковим чинником є стан рослинного і ґрунтового покриву. Лісова підстилка та розвинена коренева система виконують роль природного регулятора, який уповільнює рух води по схилу й подовжує час її просочування. Порушення цього покриву — унаслідок суцільних рубок, лісових пожеж, надмірного випасання чи будівництва — знижує шорсткість поверхні, і швидкість стоку зростає ще більше.

Як наслідок, високий рівень атмосферного живлення не трансформується у пропорційні експлуатаційні запаси, а переважно реалізується через швидкий поверхневий і приповерхневий стік за межі регіону.

Виклад основного матеріалу. Карпатська гірська складчаста область складена крейдовими та палеогеновими флішовими відкладами, які являють собою переважно ритмічне перешаровування аргілітів, алевролітів і пісковиків. Ці породи внаслідок регіонального стиснення, викликаного геотектонічними силами, залягають переважно під значними кутами падіння (60°-70°).

Водоносні горизонти у флішевих відкладах знаходяться, як правило, у верхній зоні згаданих відкладів, в приповерхневій їх частині, яка зазнала додаткового зростання тріщинуватості та збільшення пористості під впливом екзогенних процесів. Екзогенна тріщинуватість в приповерхневій зоні флішевого комплексу порід поширена нерівномірно, як в плані, так і в розрізі. В плані, інтенсивна тріщинуватість залежить від типу відкладів, а

в розрізі розвинута в інтервалі перших двох - трьох десятків метрів від поверхні землі, на глибинах більше 100м вона практично затухає.

Тектонічні тріщини, які подрібнюють породи карпатського флішу, також відіграють роль колекторів та провідників води, про що свідчать виходи на денну поверхню вуглекислих і сірководневих вод, а також наявність високомінералізованих вод на значних глибинах. Але встановлено, що ділянки, де в розрізі суттєво переважають аргіліти, навіть поблизу тектонічних порушень, породи є практично безводними. Це підтверджується результатами гідрогеологічних досліджень і випробувань багатьох свердловин, які розкрили подрібнені і перем'яті аргіліти в зонах розломів (з незначними прошарками пісковиків). Ці гідрогеологічні свердловини переважно є безводними.

Спеціалістами ТзОВ «НВТП «Геол-Тех» було отримане завдання провести пошуково-розвідувальні роботи з метою забезпечення підприємства питними водами у обсязі не менше 5 $м^3$/год (120 $м^3$/добу). Ділянка досліджень розташовувалась у центральній зоні Сколівської луски Скибового насуву, практично у межах верхньої частини (640-680м) відгалуження хребта, що простягається на північний захід від північно-західної околиці смт. Східниця.

Попередньо, різносторонньо вивчивши геолого-гідрогеологічні та геоморфологічні умови району досліджень, було вирішено пробурити серію розвідувально-експлуатаційних свердловин на південно-східному завершенні схилу цього хребта, на площадках з абсолютними відмітками 626-645м.

Критерії вибору площадок буріння розвідувально-експлуатаційних свердловин:

1. Геологічні. Ділянка розташована в осьовій частині Сколівської луски де на поверхню виходять у ядрі антиклінальної складки флішоїдні відклади *спаської* та *головнинської* світ, крила представлені *стрийською* верхнєкрейдовою світою. Всі вони мають у свої розрізах пропласти пісковиків, особливо відклади *спаської* світи, які мають у середній частині свого розрізу пакети середньо- та грубошаруватих кварцових і глауконіт-кварцових пісковиків (Ващенко та ін., 2022). Складка має північно-східну вергентність з крутоспадним, часто, із перекинутим заляганням північно-східного крила (Шлапінський та ін., 2020). В плані її простягання простежується щонайменше на 11-12 км (рис. 1). Геологічні пласти скельних відкладів пісковиків і частково аргілітів, які виходять на поверхню, внаслідок довготривалої дії екзогенних процесів, у своїй верхній частині інтенсивно тріщинуваті та промиті всесезонними атмосферними опадами. Витягнуті області підвищеної тріщинуватості відповідають у плані простягання цих пластів. Пласти з підвищеною тріщинуватістю чергуються з пачками переважно аргілітового складу з низькою водопровідністю. Перетоки між цими зонами підвищеної тріщинуватості відбуваються за рахунок тектонічної роздробленості пластів навхрест їх простягання. Такі тектонічні тріщини мають різнонаправлене простягання з переважаючими північно-західним і північно-східним напрямками, відповідно до регіональних полів напружень, створених альпійським тектогенезом. Окрім того, додаткову тріщинуватість часто спостерігають в осьовій частині складок, де деформаційні сили під час їх формування є максимальними.

2. Гідрогеологічні. Природні джерела та нечисленні свердловини, що розкривають *спаську* світу, мають дебіти переважно від 0,05 до 0,2 л/с. Для *головнинської* світи розрахункові та практичні дебіти тут нижчі й складають 0,01–0,1 л/с (Płaczkowska та ін., 2018).

Чергування складу відкладів (водопротекторних і водопроникних) та різний ступінь їх тріщинуватості, призводить до переважаючого вектору водопровідності вздовж простягання пластів. Наявність потужних водопротекторних пластів аргілітів вздовж північно-східного і південно-західного схилів, формує унікальні умови накопичення водних ресурсів у тріщинуватих зонах верхньої частини хребта, дренування їх вздовж пластів та розвантаження їх на підніжжі схилу у південно-східному напрямку. Окрім головного напряму дренування цього водоносного горизонту можливі окремі перетікання

по локальним тектонічним тріщинам, які перетинають водотривкі пласти та вищою водопровідністю, створюючи горизонтальні перетоки між більш водопровідними пластами, формуючи таким образом загальний водоносний горизонт у приповерхневому тріщинуватому масиві скельних відкладів *спаської* та *головнинської* світ. Просторова обмеженість схилами гірського хребта даного водоносного горизонту відносить його до відокремленого гідрогеологічного масиву тріщинних вод, обмеженого ерозійними врізами.

Переважаючі напрями підземного потоку вздовж геологічних границь були досліджені та підтверджені і в інших геологічних умовах Карпатського регіону (Павлюк, 2010).

3. Геомофологічні. Вибір ділянки буріння свердловин на південно-східному схилі відгалуження хребта обумовлений тим, що простягання цього хребта збігається з віссю антиклінального ядра складеним *головнинською* світою, яка є основною областю дренування зібраних вод вздовж вісьової частини хребта протяжністю щонайменше 4 км. У випадку зміщення розташування свердловин від вибраної ділянки у південно-східному напрямку вниз по схилу, ближче до області розвантаження, різко понижується статичний рівень водоносного горизонту у них, як в абсолютних значеннях, так і глибині залягання від поверхні, що спостерігається у пробурених свердловинах (табл. 1). Подальше зміщення їх вниз по схилу вірогідно призведе до зменшення видобувних обсягів з окремої свердловини.

4. Площа водозбору. Район досліджень розташований у верхній частині гірського відгалуження хребта. Чим вище будуть розташовані свердловини, тим менша буде площа водозбору, а отже менші прогнозні запаси води у верхній частині тріщинуватих скельних відкладів. Для стабільного водозабезпечення впродовж року, розрахункова площа живлення цього водозабору має складати щонайменше 1,5 км^2. Розташування усть свердловин на абсолютних відмітках 626-645м відповідає цим умовам.

5. Територіально-адміністративна обмеженість. Свердловини можна було розташувати тільки в межах ділянки погодженої із замовником.

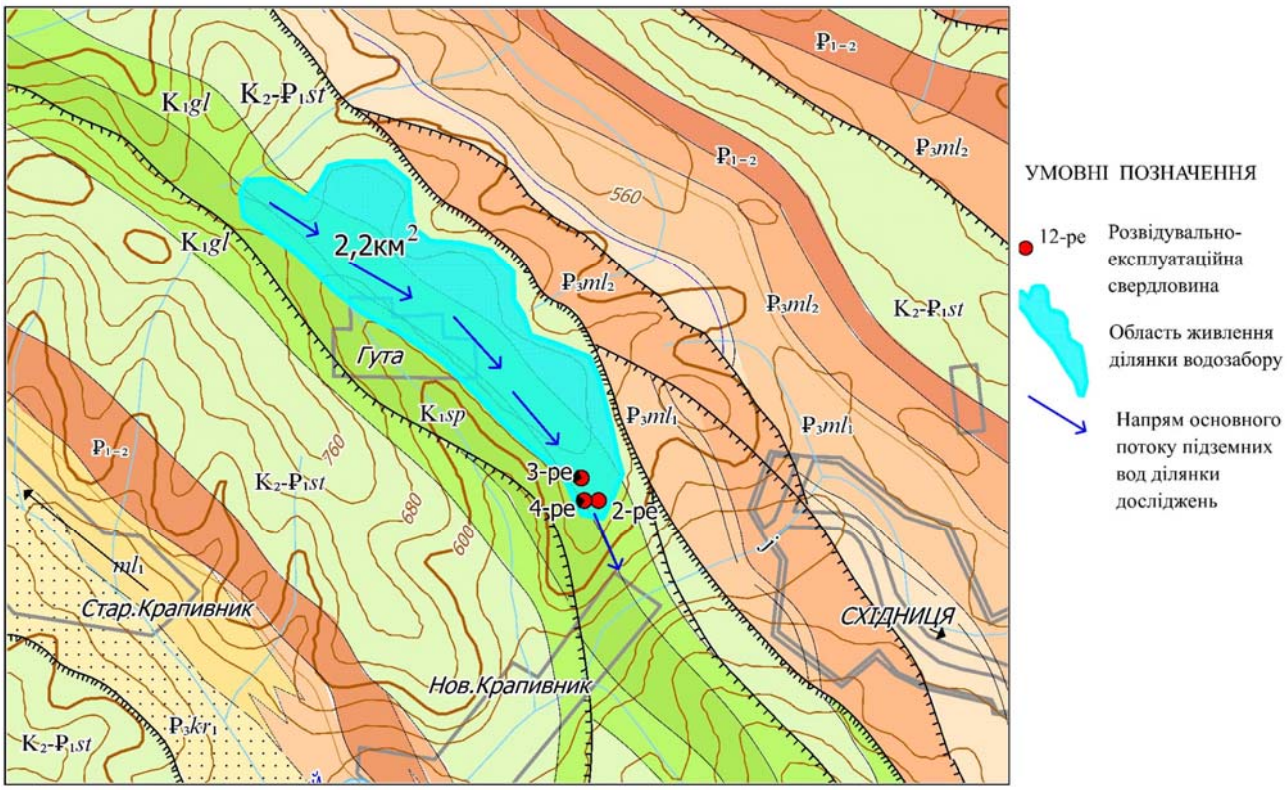


Рис. 1. Ситуаційний геолого-гідрогеологічний план ділянки досліджень, масштаб 1 : 50 000 (Ващенко та ін., 2022)

Таблиця 1

Параметри водоносного горизонту по свердловинам

Параметр	2-ре	3-ре	4-ре
статичний рівень, м	16,8	8	8,5
динамічний рівень, м	27	44,3	19
пониження, м	10,2	36,3	10,5
дебіт $м^3$/год	2,5	3,48	2,2
питомий дебіт	0,25	0,10	0,21
абс. відмітка устя св., м	626	644,5	639
абс. статичного рівня, м	609,2	636,5	630,5

Висновки. Враховуючи середні для даного типу відкладів дебіти свердловин, пробурених по утвореннях *головнинської* та *спаської* світ, для досягнення проектного результату, потрібно було пробурити щонайменше 6-7 експлуатаційних свердловин**.** Проте, проведений аналіз наявного геологічного матеріалу та власний досвід робіт, дозволив суттєво оптимізувати витрати на розвідувально-експлуатаційне буріння. В результаті робіт був отриманий сумарний робочий експлуатаційний дебіт з трьох свердловин у обсязі 8,2 $м^3$/год, що у півтора рази покриває потреби підприємства на даний час. Виконані попередні аналітичні дослідження дозволили отримати бажаний результат при мінімальних ресурсних витратах на спорудження водозабору. Якість води відповідає по всім параметрам ДСанПіН 2.2.4-171-10 воді питній, за виключенням св-2-ре, де загальне залізо показало 0,5 $мг/дм^3$.

З метою раціонального використання такого локального ресурсу, враховуючи оцінену площу живлення тріщинувато-блокового водоносного горизонту, обмеженого в просторі ерозійними врізами, рекомендується не перевищувати ліміт видобування розвіданого обсягу підземних вод.

Список використаних джерел:

Mostowik, K., Krzyczman, D., Płaczkowska, E., Rzonca, B., Siwek, J., & Wacławczyk, P (2021). Spring recharge and groundwater flow patterns in flysch aquifer in the Połonina Wetlińska Massif in the Carpathian Mountains. *Journal of Mountain Science*, 18(4), 819–833. https://doi.org/10.1007/s11629-020-6524-2.

Nakapelyukh, M., Bubniak, I., Bubniak, A., Jonckheere, R., & Ratschbacher, L. (2018). Cenozoic structural evolution, thermal history, and erosion of the Ukrainian Carpathians fold-thrust belt. *Tectonophysics*, 722, 197–209. https://doi.org/10.1016/j.tecto.2017.11.009.

Nakapelyukh, M., Bubniak, I., Yegorova, T., Murovskaya, A., Gintov, O., Shlapinskyi, V., & Vikhot, Y. (2017). Balanced geological cross-section of the outer Ukrainian Carpathians along the Pancake profile. *Journal of Geodynamics*, 108, 13–25. https://doi.org/10.1016/j.jog.2017.05.005.

Płaczkowska E., Siwek J., Maciejczyk K., Mostowik K., Murawska M., Rzonca B. (2018). Groundwater capacity of a flysch-type aquifer feeding springs in the Outer Eastern Carpathians. *Hydrology Research*, Vol. 49, No. 6, 1946–1959. https://doi.org/10.2166/nh.2018.200. [in Poland]

Ващенко, В. О., Євтушко, Т. Л., Британ, А. Й. (2022). Державна геологічна карта України. Масштаб 1 : 200 000. Карпатська серія. M-34-XXX (Стрий). *Львівська геологорозвідувальна експедиція*.

Гавриленко К. С., Штогрин О. Д., Щепак В. М. (1968). Підземні води західних областей України. *Наукова думка*.

Павлюк В. І. (2010). Вплив геологічних факторів на екзогенні процеси міоценових соленосних відкладів Українського Передкарпаття. *Геологія і геохімія горючих копалин*, № 2 (151), 89–104.

Шлапінський В.Є., Павлюк М.І., Тернавський М.М. (2020). Критичний розгляд проблемних питань стратиграфії і тектоніки Складчастих Карпат і прилеглих територій на

прикладі «Держгеокарти–200». *Геологія і геохімія горючих копалин,* № 1 (182) 5–39. https://doi.org/10.15407/ggcm2020.01.005.

References

Havrylenko, K. S., Shtohryn, O. D., & Shchepak, V. M. (1968). Pidzemni vody zakhidnykh oblastei Ukrainy [Groundwater of the western regions of Ukraine]. *Naukova Dumka* [in Ukrainian]

Mostowik, K., Krzyczman, D., Płaczkowska, E., Rzonca, B., Siwek, J., & Wacławczyk, P. (2021). Spring recharge and groundwater flow patterns in flysch aquifer in the Połonina Wetlińska Massif in the Carpathian Mountains. *Journal of Mountain Science*, 18(4), 819–833. https://doi.org/10.1007/s11629-020-6524-2

Nakapelyukh, M., Bubniak, I., Bubniak, A., Jonckheere, R., & Ratschbacher, L. (2018). Cenozoic structural evolution, thermal history, and erosion of the Ukrainian Carpathians fold-thrust belt. *Tectonophysics*, 722, 197–209. https://doi.org/10.1016/j.tecto.2017.11.009

Nakapelukh, M., Bubniak, I., Yegorova, T., Murovskaya, A., Gintov, O., Shlapinskyi, V., & Vikhot, Yu. (2017). Balanced geological cross-section of the Outer Ukrainian Carpathians along the PANCAKE profile. *Journal of Geodynamics*, 108, 13–25. https://doi.org/10.1016/j.jog.2017.05.005

Płaczkowska, E., Siwek, J., Maciejczyk, K., Mostowik, K., Murawska, M., & Rzonca, B. (2018). Groundwater capacity of a flysch-type aquifer feeding springs in the Outer Eastern Carpathians. *Hydrology Research*, 49(6), 1946–1959. https://doi.org/10.2166/nh.2018.200 [in Poland]

Pavliuk, V. I. (2010). Vplyv heolohichnykh faktoriv na ekzohenni protsesy miotsenovykh solenosnykh vidkladiv Ukrainskoho Peredkarpattia [Influence of geological factors on exogenous processes in the Miocene salt-bearing deposits of the Ukrainian Precarpathians]. *Geology and Geochemistry of Combustible Minerals*, 2(151), 89–104 [in Ukrainian].

Vashchenko, V. O., Yevtushko, T. L., & Brytan, A. Y. (2022). Derzhavna heolohichna karta Ukrainy. Masshtab 1:200 000. Karpatska seriia. M-34-XXX (Stryi) [State Geological Map of Ukraine. Scale 1:200,000. Carpathian series. Sheet M-34-XXX (Stryi)]. *Lviv Geological Exploration Expedition* [in Ukrainian]

Shlapinskyi, V. Ye., Pavliuk, M. I., & Ternavskyi, M. M. (2020). Critical consideration of problematic questions of stratigraphy and tectonics of the Folded Carpathians and adjacent territories on the pattern of State Geological Map – 200. *Geology and Geochemistry of Combustible Minerals*, 1(182), 5–39. https://doi.org/10.15407/ggcm2020.01.005 [in Ukrainian]

УДК 556.314:556.38 (477)

МІНЕРАЛЬНІ ПІДЗЕМНІ ПРИРОДНІ СТОЛОВІ ВОДИ

Погребний А.Л., *с. н. с., ORCID ID:0009-0003-6095-2572, pgrb@ukr.net,*
Цуркан О.І., *к. геогр. н., с. н. с., otsurkan75@gmail.com,*
Олійник Н.П., *наук. співробітник, ORCID ID: 0000-0002-9470-5612, oleynik_gidro@ukr.net,*
ДНТ «Український науково-дослідний інститут реабілітації та курортології МОЗ України», Одеса, Україна

Природні мінеральні води мають притаманні тільки їм характеристики: природне походження, стабільний фізико-хімічний склад, власну унікальну мікробіоту.

За своїм складом і структурою природна мінеральна вода найбільш наближеною до фізіологічних потреб організму.

В рамках даної роботи розглянуто розповсюдженість природних мінеральних столових вод на території України, пов'язаність їх з різними геоструктурними елементами та літологічним складом порід різного віку. Завдяки збалансованому фізико-хімічному складу мінеральні природні столові води в багатьох випадках виявляють виражений оздоровчий ефект.

Ключові слова: мінеральні природні столові води, хімічний склад, оздоровчий ефект

NATURAL UNDERGROUND MINERAL DRINKING WATERS

Pohrebnyi A., *Senior researcher, ORCID ID: 0009-0003-6095-2572, pgrb@ukr.net,*
Tsurkan O., *Cand. Sci. (Geogr.), Senior researcher, otsurkan75@gmail.com,*
Oliinyk N., *Senior researcher, ORCID ID: 0000-0002-9470-5612, oleynik_gidro@ukr.net,*
State Non-profit Enterprise «Ukrainian Research Institute of Rehabilitation and Balneology of the Ministry of Health of Ukraine», Odessa, Ukraine

Natural mineral waters possess unique characteristics: natural origin, a stable physicochemical composition, and a distinct microbiota.

In terms of composition and structure, natural mineral water most closely aligns with the body's physiological needs.

This study examines the distribution of natural mineral table waters across Ukraine, as well as their association with various geostructural elements and the lithological composition of rock formations of different ages. Due to their balanced physicochemical composition, natural mineral table waters often demonstrate significant health-promoting effects.

Keywords: natural mineral drinking waters, chemical composition, health-promoting effect

Відповідно до чинних нормативних документів України – ДСТУ 878-93 мінеральна природна столова вода – це безпечна для здоров'я людини вода, що надходить (видобувається) з підземного водоносного горизонту (родовища) на поверхню за допомогою водозабірних споруд з одного або більше природних джерел або свердловин, якій властива мікробіота, захищена від зовнішнього забруднення, не піддавалась зміні та впливу. Води мінеральні природні столові характеризуються мінералізацією менше ніж 1,0 g/l, і не містять біологічно активних компонентів та сполук понад прийняті бальнеологічні норми.

За міжнародним документом Стандарт Кодексу Аліментаріус (CXS 108-1981), природна мінеральна вода – це вода, яку чітко можна відрізнити від звичайної питної завдяки її унікальному, постійному мінеральному складу та оригінальній мікробіологічній чистоті, що походить із захищеного підземного джерела. Саме цей статус «оригінальної чистоти» формує основний критерій вибору для споживачів.

Основні терміни та положення ряду нормативних документів щодо природної мінеральної води наведено у табл. 1.

На території України мінеральні підземні природні столові води мають майже повсюдне поширення. Умови їх формування різноманітні і визначаються геоструктурними особливостями території, комплексом фізико-географічних, геолого-структурних, літолого-фаціальних, гідрогеологічних факторів, які взаємодіють між собою, формуючи мінеральні столові води з унікальним збалансованим фізико-хімічним хімічним складом (табл. 2).

Таблиця 1

Визначення терміну «Природна мінеральна вода» у деяких нормативно-правових актах

Джерело визначення	Зміст визначення терміну
Наказ МОЗ № 243	Природні підземні води об'єктів (родовищ), що характеризуються певним та стабільним фізико-хімічним складом, умістом біологічно активних компонентів та сполук відповідно до кондицій, установлених для кожного об'єкта (родовища), які використовуються без додаткової обробки, що може вплинути на хімічний склад та мікробіологічні властивості.
Наказ Мінекономіки № 741	Безпечна для здоров'я людини вода, що видобувається з підземного водоносного горизонту на поверхню за допомогою природних джерел або свердловин, якій властива мікробіота, захищена від зовнішнього забруднення та не піддавалася знищенню чи зміні. Характеризується певним та стабільним мікробіологічним і фізико-хімічним складом.
Directive 2009/54/EC	Мікробіологічно безпечна вода підземного походження, що надходить з природного джерела чи свердловини. Її можна чітко відрізнити від звичайної питної води за: 1) стабільним фізико-хімічним складом (мінерали, мікроелементи); 2) первісною чистотою. Характеристики збережені завдяки захищеності підземного горизонту від ризику забруднення.
CXS 108-1981	Вода, що значно відрізняється від звичайної питної: 1) вмістом мінеральних солей та мікроелементів; 2) видобуванням із захищених підземних шарів у зонах санітарної охорони; 3) постійністю складу, температури та дебіту; 4) збереженням вихідного складу при видобутку; 5) фасуванням поблизу джерела; 6) забороною обробки, крім видалення нестабільних сполук (Fe, Mn, S, As) методами аерації та фільтрації.

Таблиця 2

Мінеральні підземні природні столові води

Назва МВ / № свр. , область	Інтервал залягання, м	Геол. індекс	Водовмісні породи	Дебіт, $м^3/д$	Формула хімічного складу
У відкладах четвертинної системи *Дніпровсько-Донецький артезіанський басейн*					
Бювет Вітал, свр. № 5, Полтавська обл.	23,0-39,0	Q	піски	806,4	$M_{0,5-0,9}$ $\frac{HCO_3 > 80\ SO_4 < 25}{(Na+K)30\text{-}50 Ca30\text{-}45\ Mg < 35}$
Гідрогеологічна провінція складчастої області Українських Карпат					
Шаянка, свр. № 07-07-мт Закарпатська обл.	3,0-23,0	Q	валунно-галечникові відклади	604,8	$M_{0,2-0,6}$ HCO_3 55-85 SO_4<30 Ca35-65(Na+K)20-55Mg< 30
Моршинська, джерела Моршинського, Стрілківського та Зарічненського родовищ, Львівська обл.	-	Q	валунно-галечникові відклади	9,2-400,0	$M_{0,1-0,4}$ $\frac{HCO_3\ 40\text{-}85\ SO_4 < 60\ Cl < 40}{Ca\ 25\text{-}75\ (Na+K) < 60\ Mg < 40}$
У відкладах неогену *Волино-Подільський артезіанський басейн*					
Гуцульська мінеральна вода Пістинська Джерельна, дж. № 6 Івано-Франківська обл.	-	N_1s_1	конгломерати	50,4-60,0	$M_{0,35\text{-}0,55}$ - $\frac{HCO_3\ 65\text{-}95\ SO_4 < 30}{Ca\ 65\text{-}95\ (Na+K) < 30}$
Солуки Плюс, свр. № 1586, Львівська обл.	17,3-38,5	N_1t_1	пісковики	240,0	$M_{0,3\text{-}0,5}$ - $\frac{HCO_3 > 75}{Ca > 75}$
*Хрещатик,*дж. № 1, Чернівецька обл.	-	N_1	вапняки	-	$M_{0,4\text{-}0,7}$ $\frac{HCO_3 40\text{-}70\ SO_4\ 25\text{-}55}{Ca\ 55\text{-}80\ Mg\ 20\text{-}35}$

Дніпровсько-Донецькийартезіанський басейн					
ALMAZNA, свр. № 19, Київська обл.	42,0-53,0	N_2	піски	96,0	$M_{0,4-1,0}$ - $\frac{HCO_3 > 90}{Ca\ 40-70\ Mg\ 20-40}$
Український щит					
*Барчанка,*свр. № 639, Вінницька обл.	65,0-68,0	N_1s	вапняки	236,0	$M_{0,4-0,8}$ $\frac{HCO_3 > 80}{Ca > 50\ Mg > 20}$
Шумилівська, дж. № 1, Вінницька обл.	-	N_1s_{1-2}	вапняки	5500-6000	$M_{0,4-0,9}$ $\frac{HCO_3 > 75}{Ca\ 40-75\ Mg\ 25-50}$
Причорноморський артезіанський басейн					
Каховка, свр. № 12-371 Херсонська обл.	13,8-26,0	N_1s_3	вапняки	96,0	$M_{0,5}$ $\frac{HCO_3\ 40-60Cl\ 20-40SO_4 < 30}{(Na+K)25-50Ca25-45-Mg\ 20-40}$ (0,9)
Гідрогеологічна провінція складчастої області Українських Карпат					
Трускавецька, свр. № 24Р(1), 24РР (2), 24РЕ(3), 2с, 4с, 9807/25, Львівська обл.	6,0-52,0	N1zg	пісковики, аргіліти	16,0-43,2	$M_{0,2-0,9}$ $\frac{HCO_3 > 50\ SO_4 < 50\ Cl < 35}{Ca10-95\ (Na+K) < 85\ Mg < 65}$
Трускавецька, свр. № 9810/28, 011/46, 0406/63, 9912/38, 0112/50, Львівська обл.	17,9-60,0	N1vr1	пісковики, конгломерати гравеліти	43,2-108,0	
У відкладах палеогенової системи					
Волино-Подільський артезіанський басейн					
Слорунг, дж. № 1, Івано-Франківська обл.	-	P_2vg	-	30,0-32,0	$M_{0,3-0,6}$ - $\frac{HCO_3 > 70}{Ca > 60\ (Na+K) < 35}$
Дніпровсько-Донецький артезіанський басейн					
Кришталева роса, свр. № 2526, Дніпропетровська обл.	19,3-28,0	P_2ob	пісковики	345,6	$M_{0,1-0,3}$ $\frac{HCO_3\ 60-85\ Cl < 30}{(Na+K)25-70Ca20-55Mg < 30}$
Бон Буассон, свр. № 2е, 23732, Дніпропетровська обл.	15,6-37,6	P_2ob	пісковики	259,2 460,8	$M_{0,2-0,5}$ $\frac{HCO_3 > 70\ Cl\ 5-25}{(Na+K) > 70}$
*Аква Натурале,*свр. № 1, Дніпропетровська обл.	35,0-52,5	P_2ob	пісковики	153,8	$M_{0,5-1,0}$ $\frac{SO_4 30-55 HCO_3 30-50 Cl < 25}{(Na+K)30-55Ca25-45Mg < 35}$
Миргородська лагідна, свр. № 604/1, 604/2, Полтавська обл.	40,5-80,0	P_3hr	піски	360,0 720,0	$M_{0,4-0,7}$ - $\frac{HCO_3 > 80}{Ca40-65Mg < 35(Na+K)20-40}$
Зіньківське джерело, свр. №3766 Полтавська обл.	145,0 170,0	P_2bc-kn	піски	384,0	$M_{0,45-0,85}$ $\frac{(HCO_3 + CO_3) > 60}{(Na+K) > 65}$
Український щит					
Молочанська 1832, свр. № 1313(19) Запорізька обл.	162,0 200,0	P_1+P_2	піски	120,0	$M_{0,5-1,0}$ $\frac{HCO_3 25-45 Cl 20-45 SO_4 20-45}{(Na+K)40-60Ca20-40Mg10-30}$
Молочанська, свр. № 2040, Запорізька обл.	162,0 187,0	P_1+P_2	піски	360,0	$M_{0,6-0,9}$ $\frac{HCO_3 30-45 Cl 25-40 SO_4 20-40}{(Na+K)45-60Ca\ 20-40Mg10-30}$
Гідрогеологічна провінція складчастої області Українських Карпат					
Вівас, дж. № 2, Закарпатська обл.	-	P_2vg	пісковики	391,0	$M_{0,1-0,3}$ $\frac{HCO_3\ 45-90 SO_4 < 45}{Ca\ 35-85\ (Na+K) < 55\ Mg < 25\ -}$
Трускавецька, свр. № 42, 42-к, Львівська обл.	5,5-31,0	P_2mn	пісковики. аргіліти	48,0-108,0	$M_{0,2-0,9}$ $\frac{HCO_3 > 50\ SO_4 < 50\ Cl < 35}{Ca10-95(Na+K) < 85Mg < 65}$
Трускавецька, свр. № 0411/61, 0412/62, Львівська обл.	23,0-44,0	P_3mnl	аргіліти, алевроліти	95,0-133,0	
У відкладах крейдової системи					
Волино-Подільський артезіанський басейн					
Рогатинська джерельна, свр. № 729 Івано-Франківська обл.	20,6-80,0	K_2	мергель	259,2	$M_{0,5-0,9}$ $\frac{HCO_3\ 60-80\ SO_4 < 40}{Ca\ 60-90\ Mg < 35}$
Залозецька, свр. № 1 Тернопільська обл.	28,0-102,0	K_2t	крейда, пісковики	487,0	$M_{0,3-0,8}$ $\frac{HCO_3 > 70}{Ca > 65\ Mg < 35}$
Дніпровсько-Донецький артезіанський басейн					
Іволжанська, свр. № 1, № 2, Сумська обл.	15,0-45,0	K_2km	мергель, крейда	240,0 250,0	$M_{0,3-0,7}$ $\frac{HCO_3 > 70}{Ca\ 60-80\ Mg < 35}$
Український щит					
Регіна, дж. № 1, 2, с. Житники, Вінницька обл.	-	K_2cm	піски, пісковики,	43,2-224,6	$M_{0,4-0,8}$ $\frac{HCO_3 > 80}{Ca\ 50-80\ Mg\ 15-40}$
Гідрогеологічна провінція складчастої області Українських Карпат					
Вершина, свр. № 1-Л(СВ), Закарпатська обл.	152,0 260,0	K_2-P_{1-2} ch	пісковики	75,8	$M_{0,2-0,6}$ $\frac{HCO_3 > 80}{(Na+K) > 75}$
Карпатська джерельна, свр. № 3(926), № 4, Львівська обл.	56,0-90,0	K_2	мергель, крейда	600,0	$M_{0,3-0,7}$ $\frac{HCO_3\ 65-90}{Ca\ 65-95}$

У відкладах юрської системи					
Дніпровсько-Донецький артезіанський басейн					
Оболонська, свр. № 2247(6-Ю), Київська обл.	235,0 270,0	J_2or	піски	1584,0	$M_{0,3-0,8}$ $\underline{HCO_3 > 70}$ (Na+K)30-50 Ca20-50Mg < 40
Каліпсо, свр. № 4149 (ю), Київська обл.	267,0 301,0	J_2or	піски	745,0	$M_{0,3-0,8}$ $\underline{HCO_3 > 70}$ Ca30-55Mg20-45(Na+K)15-40
*Софія Київська,*свр. № 5-2008, № 2346 Київська обл.	282,0 327,0	J_2or	піски	120,0-960,0	$M_{0,4-0,7}$ $\underline{HCO_3\ 70-90}$ (Na+K)30-45Ca30-40Mg 25-35
У відкладах девонської системи					
Волино-Подільський артезіанський басейн					
Добра вода, свр. № 4-Г Тернопільська обл.	140,0 224,4	D_3	вапняки, алевроліти	2445,0	$M_{0,5-0,8}$ $\underline{HCO_3 > 75}$ Ca > 65 Mg < 30
У докембрійських породах					
Волино-Подільський артезіанський басейн					
Оболонська-2, свр. № 71Хмельницька обл.	35,0-121,0	V	пісковики, аргіліти, алевроліти	620,4	$M_{0,4-0,9}$ $\underline{HCO_3 > 80}$ Ca30-60(Na+K)20-40Mg20-40
Червона Калина Лагідна, свр. № 5 Рівненська обл.	110,0 138,0	V_2kn		144,0	$M_{0,6-1,0}$ $\underline{HCO_3 > 45\ Cl < 45}$ (Na+K) > 75
Острозька Нова, свр. № 2 Рівненська обл.	283,0 344,0	V_1gb	вулканогено-осадова товща	381,6	$M_{0,2-0,5}$ $\underline{HCO_3 > 85}$ (Na+K) > 85
Український щит					
Верхівська перлина, свр. № 1/157, Вінницька обл.	10,5-80,5	AR-PR	граніти	124,8	$M_{0,6-0,8}$ $\underline{HCO_3 > 70}$ Ca55-80 Mg< 40(Na+K)< 30
Еко-Преміум, свр. № 218, Вінницька обл.	48,5-116,0	AR-PR	граніти	120,0	$M_{0,5-0,8}$ $\underline{HCO_3 > 80}$ Ca50-70Mg <40(Na+K) <25
Холоневська, свр. № 70, Вінницька обл.	8,5-90,0	AR-PR	граніти	128,7	$M_{0,7-1,0}$ $\underline{HCO_3\ 55-75\ SO_4\ 15-35}$ Ca 50-75 Mg < 35 (Na+K) < 30
Тальнівська, свр. № 1243, 1246, Черкаська обл.	31,0-127,5	AR-PR	кора вивітрювання	86,1-142,8	$M_{0,5-0,8}$ $\underline{HCO_3 > 70}$ Ca 25-50 (Na+K) 20-40 Mg 20-45
Кривоозерська, свр. № 2297, 2297а, Миколаївська обл.	34,0-80,2	N_1S_2-AR-PR	вапняки, піски; граніти	240,0	$M_{0,7-1,3}$ $\underline{HCO_3 30-50 SO_4 20-40 Cl\ 25-45}$ Na+K) 50-70 Mg 15-35

Тобто, ресурсна база мінеральних підземних природних столових вод пов'язана з широким стратиграфічним діапазоном – від четвертинних відкладів до девонських товщ та кристалічних порід архей-протерозою, що підтверджує високий потенціал усіх основних геологічних структур для розвитку галузі промислового фасування вод.

Ресурсний потенціал мінеральних природних столових вод зосереджений у діапазоні глибин – від 3,0 м до 350,0 м. Колекторами столових вод слугують різноманітні за лытологычним складом породи: теригенні (піски, пісковики), карбонатні (вапняки, мергелі, крейда) та кристалічні (граніти, амфіболіти, гнейси).

Залежність хімічного складу вод від літології водовмісних порід простежується за такими закономірностями:

У пісках формуються води гідрокарбонатні, сульфатно-гідрокарбонатні, сульфатно-хлоридно-гідрокарбонатні натрієві, магнієво-кальцієві або складного катіонного складу.

У пісковиках спектр вод значно ширший: гідрокарбонатні, сульфатно- та хлоридно-гідрокарбонатні, хлоридно-гідрокарбонатно-сульфатні кальцієві, натрієві, магнієво-кальцієві або складного катіонного складу.

Карбонатні породи (вапняки, мергелі, крейда) продукують найбільш стабільні гідрокарбонатні магнієво-кальцієві та кальцієві води. У мергелях та вапняках також спостерігається збагачення сульфат-іонами, що призводить до формування сульфатно-гідрокарбонатних типів.

Кристалічні породи (граніти, амфіболіти, гнейси) характеризуються формуванням гідрокарбонатних, сульфатно-гідрокарбонатних та хлоридно-сульфатно-гідрокарбонатних вод складного катіонного катіонного складу.

Для цілісної інтерпретації загального гідрохімічного типу мінеральних природних столових вод та визначення їхньої генетичної приналежності за аніонним і катіонним

складом використано трилінійну діаграму Пайпера, яка свідчить, що для більшості мінеральних природних столових вод характерним є гідрокарбонатний кальцієвий та магнієво-кальцієвий склад (рис. 1)

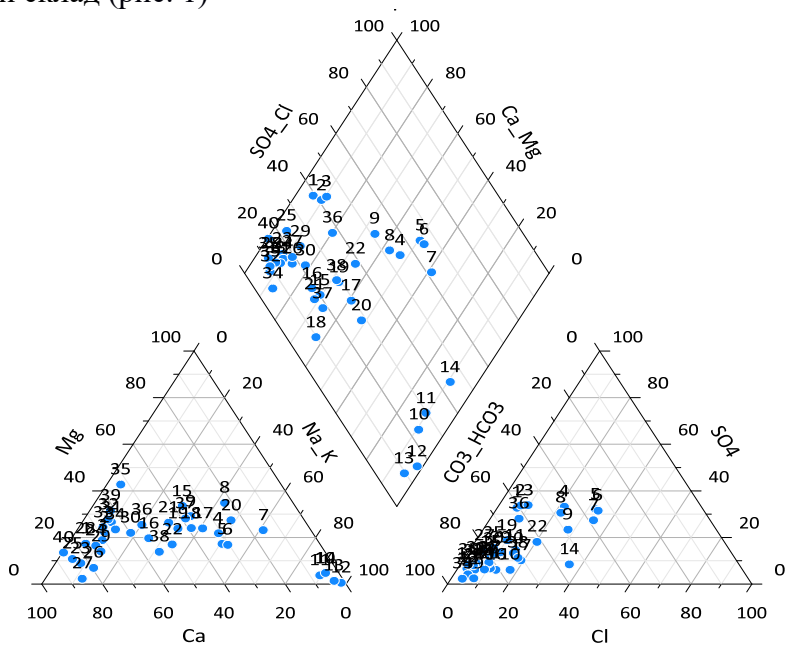


Рис. 1. Графічна інтерпретація іонного складу мінеральних столових вод за діаграмою Пайпера

Завдяки збалансованому фізико-хімічному складу мінеральні природні столові води в багатьох випадках виявляють виражений оздоровчий ефект (табл. 3).

Таблиця 3

Результати експериментальне дослідження щодо оздоровчого ефекту мінеральних природних столових вод

Назва МВ	***Оздоровчий ефект***
Еко-Преміум	Стимулює функціональний стан печінки та активує імунний захист організму
Миргородська Лагідна	Незначна активація стану центральної нервової системи, стимуляція гуморальної ланки імунного захисту
Оболонська	Підвищення функціональної активності шлунку та печінки, стимулює іонорегулюючу функцію нирок та помірно підвищує емоційну активність на тлі зниження емоційної напруги
Оболонська-2	Стимулює травлення
Аква-Натурале	Чинить стимулюючий вплив на функціональний стан нирок та жовчовивідну функцію печінки
Моршинська	Стимулює функціональний стан печінки, сечоутворення, активує захисно-пристосувальні процеси в організмі
Вівас	Підвищення концентрації гемоглобіну, сприяє стимуляції захисно-пристосувальних процесів, активує окислювально-відновлювальні реакції, підвищує функціональну активність печінки
Ждимир	Стимуляція сечоутворення, інтенсифікація жовчовивідної функції печінки та активація окиснювально-відновлювальних ферментів

Список використаних джерел:

1. ДСТУ 878-93 *Води мінеральні фасовані. Технічні умови* (1996) Київ. Держстандарт України.

2. Наказ Міністерства охорони здоровя України № 243 від 02.06.2003. *Про затвердження Порядку здійснення медико-біологічної оцінки якості та цінності*

природних лікувальних ресурсів, визначення методів їх використання. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0752-03#Text

References

DSTU 878-93 *Vody mineralni fasovani. Tekhnichni umovy.* (1996) Kyiv. Derzhstandart Ukrainy. [in Ukrainian].

Nakaz Ministerstva okhorony zdorovia Ukrainy № 243 vid 02.06.2003. *Pro zatverdzhennia Poriadku zdiisnennia medyko-biolohichnoi otsinky yakosti ta tsinnosti pryrodnykh likuvalnykh resursiv, vyznachennia metodiv yikh vykorystannia*. [in Ukrainian]. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0752-03#Text

УДК 556.3:628.1

РОЗГЛЯД МОЖЛИВОСТЕЙ ОРГАНІЗАЦІЇ ЛОКАЛЬНОГО (БЮВЕТНОГО) ВОДОПОСТАЧАННЯ М. БРОВАРИ ПІД ЧАС МОЖЛИВИХ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ АБО ЗАПРОВАДЖЕННЯ ВОЄННОГО СТАНУ

Руденко Ю.Ф., *к. геол.-мін. н., с. н. с., ORCID.ORG/0000-0002-4112-9746, rud@hydrosafe.kiev.ua,*
Стеценко Б.Д,. *к. геол.-мін. н., с. н. с., ORCID.ORG/0009-0006-3347-2604, stecenko@hydrosafe.kiev.ua,*
Гураль О.В., *м. н. с., ORCID.ORG/0009-0005-1332-9985, gural@hydrosafe.kiev.ua,*
Саприкін В.Ю., *к. геол. н., науковий співробітник, ORCID.ORG/0009-0002-7112-2235, vsaprykin@hydrosafe.kiev.ua,*
Державна установа «Науково-інженерний центр радіогідрогеоекологічних полігонних досліджень НАН України», Київ, Україна

Виконано аналіз та узагальнення геолого-гідрогеологічних і гідрохімічних даних по м. Бровари та прилеглим територіям, а також забезпеченості міста затвердженими експлуатаційними запасами підземних вод. Створена гідрогеологічна модель території досліджень. Надані рекомендації щодо створення розгалуженої системи бюветного водопостачання з автономним енергозабезпеченням насосного обладнання на випадок виникнення надзвичайних ситуацій або запровадження воєнного стану. Необхідність та актуальність таких досліджень показали наслідки російської агресії, яка спрямувалась не лише на знищення військової, а й критичної та цивільної інфраструктури нашої держави.

Ключові слова: підземні води, модель, прогноз, локальне питне водопостачання, місто Бровари, надзвичайні ситуації, воєнний стан.

ASSESSMENT OF OPTIONS FOR ORGANIZING A LOCAL (WELL ROOM) WATER SUPPLY SYSTEM IN THE CITY OF BROVARY FOR USE DURING POTENTIAL EMERGENCIES OR UNDER MARTIAL LAW

Rudenko Yu., *Cand. Sci. (Geol.-Mineral.), Senior Researcher, ORCID.ORG/0000-0002-4112-9746, rud@hydrosafe.kiev.ua,*
Stetsenko B., *Cand. Sci. (Geol.-Mineral.), Senior Researcher, ORCID.ORG/0009-0006-3347-2604, stecenko@hydrosafe.kiev.ua,*
Gural O., *Junior Researcher, ORCID.ORG/0009-0005-1332-9985, gural@hydrosafe.kiev.ua,*
Saprykin V., *Cand. Sci. (Geol.-Mineral.), Researcher, ORCID.ORG/0009-0002-7112-2235, vsaprykin@hydrosafe.kiev.ua,*
State Institution "Radioenvironmental Centre of NAS of Ukraine", Kyiv, Ukraine

Geological, hydrogeological, and hydrochemical data for the city of Brovary and adjacent areas were analyzed and synthesized, and the city's supply with approved operational groundwater reserves was evaluated. A hydrogeological model of the study area was developed. Recommendations are provided for establishing an extensive network of well room water supply featuring autonomous power systems for pumping equipment, intended for use in the event of emergencies or the imposition of martial law. The necessity and relevance of such studies have been demonstrated by the consequences of russian aggression, which has targeted not only military infrastructure but also the critical and civilian infrastructure of our state.

Keywords: groundwater, model, forecast, local drinking water supply, city of Brovary, emergency situations, martial law.

Вступ. Повномасштабна збройна агресія російської федерації спричинила значний негативний вплив на всі без винятку галузі економіки України та сфери суспільного життя, зокрема і на галузь водного господарства.

В умовах воєнного стану питання водозабезпечення набуло особливої гостроти та актуальності. Ведення активних бойових дій спричиняють значні пошкодження та руйнування інженерної інфраструктури промислових та комунальних систем водозабезпечення, що загрожує стійкому функціонуванню об'єктів промисловості та сільського господарства, значно ускладнює можливість забезпечення населення якісною

питною водою, а в деяких випадках і фізично унеможливлює надання послуг із водопостачання та водовідведення.

У Державній установі «Науково-інженерний центр радіогідрогеоекологічних полігонних досліджень НАН України» виконувались прикладні наукові дослідження з метою оцінки можливості організації мережі локального водопостачання міст України з населенням понад 100 тис. осіб. Станом на 01.01.2021р. в Україні таких міст було 44. На жаль, станом на тепер 13 з них знаходяться на тимчасово окупованій території.

Під час виконання досліджень автори періодично публікували їх результати (Yu. Rudenko, Yurkova et al., 2023, Руденко, Юркова та ін., 2024; Руденко, Юркова та ін., 2025; Rudenko, Yurkova et al., 2025; Руденко, Юркова та ін., 2025 (Причорномор'я); Руденко, Юркова та ін., 2025 (Донбас). В цих публікаціях фігурували 23 з 31 міст, які були розглянуті. Матеріали по м. Бровари не публікувалися.

Мета та результати досліджень - підвищення надійності водопостачання населення м. Бровари під час можливих техногенних і природних надзвичайних ситуацій або запровадження воєнного стану.

Досвід, який ми отримали під час російсько – української війни, свідчить, що існуюча в Україні система водопостачання, за рідким виключенням, а також розроблена у 2021р. стратегія розвитку водопостачання країни є вкрай недосконалими і вразливими при воєнних діях і інших надзвичайних ситуаціях. Маючи сусідство держави з стійкою імперіалістичною ідеологією, Україна повинна розвивати всі основні ланки своєї життєдіяльності за принципами максимальної безпекової стійкості. Поряд з безпосереднім оборонним укріпленням це в першу чергу стосується і максимально стійкої системи водопостачання.

На пиття і приготування їжі на одну людину припадає за різними оцінками 5 – 7 літрів води на добу. Тобто на місто з населенням 100 000 чоловік вистачить на добу всього 500–700 $м^3$ питної води. Рішення такої проблеми, навіть в умовах дефіциту захищених підземних вод питної якості, у більшості випадків є можливим.

Завдання щодо виконаних робіт полягали у наступному:

- зібрати, проаналізувати та узагальнити дані щодо геолого-гідрогеологічних умов, наявності затверджених експлуатаційних запасів та прогнозних ресурсів підземних вод в місті Бровари;
- надати рекомендації щодо створення локальної мережі водопостачання населення цього міста;
- продемонструвати за допомогою математичного моделювання можливості створення локального (бюветного) водопостачання населення та оцінити його вплив на водообмінну систему.

Зауважимо, що в мирний час система локального водопостачання буде працювати як складова існуючої мережі централізованого господарсько-питного водозабезпечення.

Бровари розташовані в декількох кілометрах на північний схід від столиці України Києва.

Клімат району робіт помірно-континентальний з м'якою нетривалою зимою та теплим літом. Дія циклонів тут найбільше проявляється в холодну пору року. Зимою часто бувають потепління та відлиги. В теплу пору року дія циклонів значно зменшується і погода в цей період часу характеризується стабільністю.

Кількість опадів за рік коливається в межах 470-700 мм при середньобагаторічному значенні 530–540 мм. Максимальна кількість опадів випадає влітку (червень – липень), мінімальна – взимку (січень – лютий).

Територія району досліджень відноситься до Придніпровської низовини, яка займає значну площу в межах заплави й надзаплавних терас р. Дніпро. В геоморфологічному відношенні вона представляє собою слабко нахилену на північний схід алювіальну терасову рівнину, що характеризується слабко хвилястою поверхнею і заболоченими

зниженнями. Яружно-балочна система розвинена слабко. Абсолютні відмітки знаходяться в межах від 100 до 140 м.

Гідрологічна мережа району досліджень представлена річкою Дніпро, його притоками – р.р. Десна і Трубіж та річками їх басейнів. Режим р. Дніпро з притоками характеризується високою весняною повінню і низьким стоянням рівнів в літню і зимову межень.

В геоструктурному відношенні територія району досліджень розташована в межах північно-східного схилу Українського кристалічного щита.

В геологічній будові території виділяються два структурних яруси: нижній, представлений складно дислокованими та метаморфізованими кристалічними породами архей-протерозойського віку, та верхній, складений осадовими утвореннями мезозой-кайнозою.

Основні водоносні горизонти (комплекси) відображені на рис. 1.

Для питного водопостачання найбільш перспективним є водоносний комплекс сеноман-келовейських відкладів та середньоюрський (байоський) водоносний горизонт.

Водоносний комплекс сеноман-келовейських відкладів ($K_2s + J_2k$). В межах району робіт водоносний комплекс розповсюджений скрізь. Водовмісні породи представлені різними в стратиграфічному та літофаціальному відношенні відкладами. Верхню частину водовмісних відкладів представляють породи сеноманського та альбського ярусів крейдової системи, нижню частину – оксфорд-келовейські утворення.

У зв'язку з неоднорідним складом водовмісних порід коефіцієнти фільтрації за даними відкачок із свердловин змінюються від 0,5 до 15,0 м/добу. Величина водопровідності в середньому коливається від 10-15 до 200 м^2/добу та більше. Дебіти свердловин залежать від літологічного складу порід та змінюються в межах 1,6-12,5 дм^3/с. Питомі дебіти – 0,04-0,50 дм^3/с·м (Литвак, Кузьменко и др., 1972; Федоренко, Руденко та ін., 2018; Никиташ, Лютый и др., 2001; Шестопалов, Гудзенко и др., Голуб, Костюк та ін., 2021).

Перекриваються ці відклади мергельно-крейдовою товщею верхньої крейди. В процесі проведення зйомочних робіт, а також робіт по оцінці експлуатаційних запасів підземних вод району м. Києва встановлено, що мергельно-крейдова товща характеризується низькими фільтраційними властивостями. Значення коефіцієнта фільтрації знаходяться в межах $3{,}5\cdot10^{-3}$–$5{,}8\cdot10^{-5}$ м/добу.

Водоносний сеноман-келовейський комплекс є напірним. Величина напору над покрівлею складає 40–150 м. Рівні води в свердловинах встановлюються на глибинах від 4 до 30 м.

Починаючи з середини 90-х років минулого століття значним чином зменшився водовідбір підземних вод в м. Києві. Це призвело до відновлення рівневого режиму на 5-15 м.

Води сеноман-келовейського водоносного комплексу прісні, з мінералізацією 0,3–0,53 г/дм^3, гідрокарбонатні кальцій-натрій-магнієві. Загальна жорсткість води коливається в межах 2,3–6,0 мг–екв. Вміст мікрокомпонентів не перевищує гранично допустимих норм.

Водоносний горизонт континентальних відкладів середньої юри (J_2b) в межах території досліджень має широке розповсюдження.

Континентальні-морські відклади середньої юри характеризуються ритмічним чергуванням пісковиків та глинистих порід, у зв'язку з чим свердловинами розкриваються від 2-х до 5 водоносних шарів, розділених слабко проникними шарами. Останні не витримані за потужністю та по простяганню.

Водопровідність порід, в залежності від їх потужності, становить 120-500 м^2/добу.

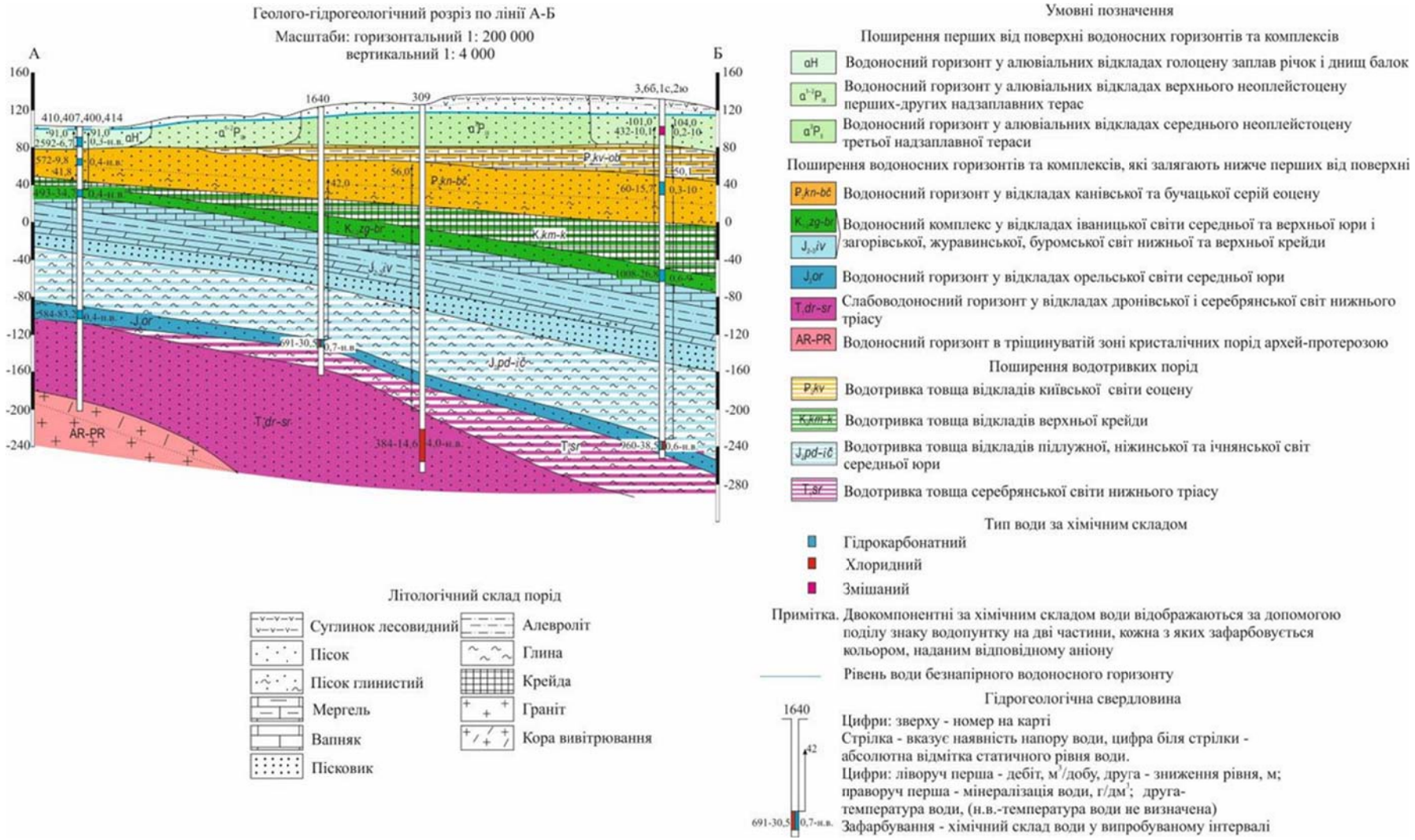


Рис. 1. Геолого-гідрогеологічний розріз

В підошві середньоюрських пісків залягає нижньотріасова піщано-глиниста товща.

В покрівлі водоносного горизонту залягає літологічно однорідна товща батських глин потужністю 55–70 м, яка в свою чергу перекрита алеврит-глинистими відкладами келовейського ярусу середньої юри потужністю до 40–60 м. Коефіцієнти фільтрації цієї товщі становлять в середньому від $2 \cdot 10^{-4}$ до $2 \cdot 10^{-6}$ м/добу.

Глибина залягання покрівлі водоносного горизонту середньоюрських відкладів змінюється від 250-280 м на заході до 365-385 м на сході району.

Величина напору змінюється від 120 до 280 м.

Води горизонту прісні, з мінералізацією 0,4–0,6 г/дм^3, гідрокарбонатно-хлоридні, натрій-кальцієві та натрій-кальцій-магнієві з загальною жорсткість до 7,0 мг–екв. Вміст шкідливих мікрокомпонентів знаходиться в межах допустимих норм.

Загалом станом на тепер по Броварській ділянці Київського родовища затверджено понад 85 тис. м^3/добу експлуатаційних запасів питних підземних вод по обох продуктивних водоносних комплексу та горизонту. Водозабір станом на 2023р. склав 0,836 тис. м^3/добу, що становить 1% від затверджених запасів.

Виходячи з кількості населення міста Бровари (109,5тис. осіб), норми водопостачання на 1 людину під час можливих надзвичайних ситуацій або воєнних дій (5-7 л на добу), а також кількості населення, яке може обслуговуватись з одного бювету (3-5 тис. мешканців міста), були виконані відповідні розрахунки, що вміщені в таблиці 1.

Таблиця 1

Розрахунок кількості та дебіту бюветів для локального водопостачання населення м. Бровари під час можливих надзвичайних ситуацій або воєнних дій

Кількість населення, тис. осіб	Норма водопостачання на одну особу, л/добу	Кількість населення, закріпленого за 1 бюветом, тис. осіб	Необхідна кількість бюветів, штук	Дебіт 1 бювету, м^3/добу	Загальний дебіт всіх бюветів, м^3/добу
109,5	5,0	3,0	37	15,0	555,0
	7,0	3,0	37	21,0	777,0
	5,0	5,0	22	25,0	550,0
	7,0	5,0	22	35,0	770,0

Таким чином, для організації локального водопостачання міста буде використано максимум 0,77 тис. м^3/добу водних ресурсів.

У зв’язку з мізерним використанням підземних вод для водопостачання міста ніяких проблем з забезпеченням мережі бюветів необхідною кількістю підземних вод не передбачається.

Зважаючи на складність геолого-гідрогеологічних умов в районі досліджень для оцінки впливу організації локального водопостачання населення м. Бровари за рахунок підземних вод з сеноман-келовейського і байоського водоносних комплексу та горизонту було використано метод математичного моделювання.

Для вирішення сформульованих задач були залучені ком’ютерні програми з відомого пакету PMWIN (Chiang, Kinzelbach, 2001).

Територія моделювання була поділена прямокутною сіткою на розрахункові блоки розміром від 200х200 м в районі розташування м. Бровари і 500х500 м за межами цього міста.

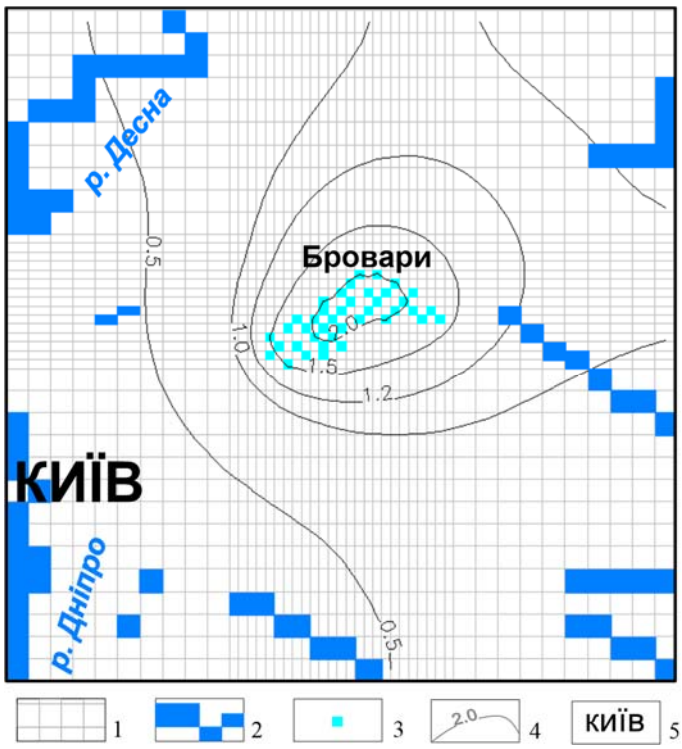


Рис. 2. Зниження рівнів підземних вод в сеноман-келовейському водоносному комплексі при загальному водовідборі 1090 м^3/добу із 40 свердловин, розташованих в межах м. Бровари: 1 – розрахункові блоки моделі; 2 – модельна гідрологічна мережа; 3 – експлуатаційна свердловина; 4 – ізозниження рівнів підземних вод, м; 5 – населений пункт

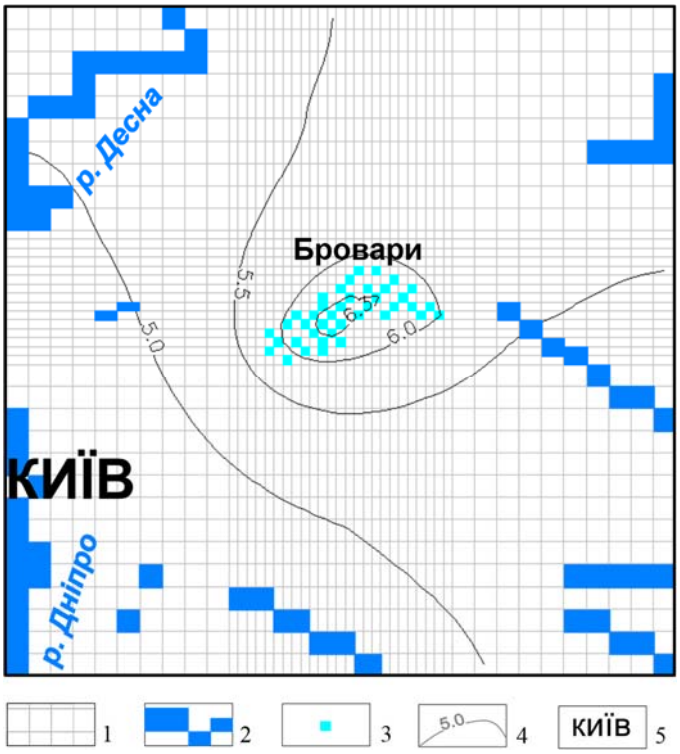


Рис. 3. Зниження рівнів підземних вод в байоському водоносному горизонті при загальному водовідборі 1090 м^3/добу із 40 свердловин, розташованих в межах м. Бровари: 1 – розрахункові блоки моделі; 2 – модельна гідрологічна мережа; 3 – експлуатаційна свердловина; 4 – ізозниження рівнів підземних вод, м; 5 – населений пункт

На математичній моделі Броварського родовища прісних вод враховано тільки водоносні горизонти осадового чохла і тому вона складена з чотирьох водоносних шарів, що поверхово залягають один над одним, і трьох роздільних відносно водотривких шарів, розташованих поміж ними.

Для параметричного наповнення моделі були використані гідрогеологічні параметри, запозичені з роботи (Федоренко, Руденко та ін., 2018). В цій роботі було оцінено прогнозне зниження підземних вод у сеноман-келовейському водоносному комплексі і байоському водоносному горизонті за умови водовідбору всіх затверджених експлуатаційних запасів по Броварському родовищу. Також було враховано вплив на рівні підземних вод суміжних родовищ району досліджень. Прогнозне сумарне зниження не перевищувало 95 м для сеноман-келовейського водоносного комплексу і 135 м - для байоського водоносного горизонту. При цьому допустимі зниження склали 150 м і 220 м, відповідно.

Виходячи з цього, нами був розрахований на створеній гідрогеологічній моделі вплив проєктного локального водопостачання м. Бровари на гідрогеологічні умови у зв'язку з можливим настанням природних і техногенних надзвичайних подій, або запровадженням воєнного стану.

Умовно розглядалося створення 40 захищених пунктів водовідбору підземних вод з сумарним дебітом свердловин 1,1 тис. $м^3$/добу, що складає трохи більше за 1% від затверджених експлуатаційних запасів. Результати оцінювання додаткових знижень і розвитку депресійних лійок відображені на рис. 2 і 3. При цьому зауважимо, що все навантаження на експлуатаційні свердловини почергово задавалося на кожний з продуктивних водоносний комплекс та водоносний горизонт.

Як бачимо, вплив цього водовідбору незначний. Спорудження локальної системи водопостачання м. Бровари – цілком реальна задача. До того ж, ця система буде використовуватися і в мирний час.

Безумовно, що інші питання, пов'язані з організацією локального водопостачання м. Бровари (розташування бюветів, буріння свердловин, автономне енергопостачання, встановлення компактних систем поліпшення якості води (за необхідністю), фінансування запланованих робіт та т.ін.), повинні вирішуватися з місцевими органами управління з залученням фахівців підприємств, які мають досвід у виконанні запланованих робіт.

Список використаних джерел:

1. Голуб П.П., Костюк Я.О., Патрікей Г.Ю., Лісовий І.О. Геолого-економічна оцінка експлуатаційних запасів питних підземних вод Броварського1 родовища в м. Бровари Київської області. - Київ.- Фонди ДНВП «Геоінформ України», 2021, 158 с.

2. Литвак Д.Р., Козьменко Г.А., Соловицкий В.Н. Гидрогеологические условия и оценка эксплуатационных запасов подземных вод района г. Киева (по состоянию на 01.01.1972г.). - К.: ГРГП «Севукргеология», 1972.

3. Нікіташ О.П., Лютий Г.Г., Шевчук О.І., Федоренко А.С. Геолого-економічна оцінка Велико-Димерського родовища прісних підземних вод для господарсько-питного водопостачання заводу безалкогольних напоїв «Кока-Кола Беверіджиз Україна ЛТД» в Броварському районі Київської області за результатами детальної розвідки в 1999-2001 рр. (з підрахунком експлуатаційних запасів за станом на 01.10.2001р.).-К.: ПДРГП «Північгеологія», 2001.

4. Руденко Ю.Ф., Юркова Н.А., Гураль О.В., Саприкін В.Ю. Деякі питання локального питного водопостачання населення під час воєнного стану (на прикладі міст України з населенням понад 100 тис. осіб) Частина 1.- Мінеральні ресурси України №4, 2024. С.64-70. *https://doi.org/110.31996/mru.2024.4.64-70.*

5. Руденко Ю.Ф., Юркова Н.А., Гураль О.В., Саприкін В.Ю. Деякі питання локального питного водопостачання населення під час воєнного стану (на прикладі міст

України з населенням понад 100 тис. осіб) Частина 2.- Мінеральні ресурси України №2, 2025. С.74-80. *https://doi.org/110.31996/mru.2025.2.74-80*

6. Руденко Ю.Ф., Юркова Н.А., Гураль О.В., Саприкін В.Ю. Питання питного водопостачання населення під час воєнного стану (на прикладі міст України з населенням понад 100 тис. осіб, розташованих в межах Причорноморського артезіанського басейну). Геол. журнал 2025. №3 С. 55-65. *https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2025.3.333686*

7. Руденко Ю.Ф., Юркова Н.А., Гураль О.В., Саприкін В.Ю. Щодо питного водопостачання населення під час воєнного стану (на прикладі міст України з населенням понад 100 тис. осіб, розташованих в межах Донецької складчастої області). Матеріали X міжнародної науково-практичної конференції «Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування» (6-10 жовтня 2025р., Львів). Державна комісія України по запасах корисних копалин (ДКЗ). К.:ДКЗ, 2025.-С. 634-646.

8. Федоренко А.С., Руденко Ю.Ф., Буян Н.Н. та ін. Геолого-економічна переоцінка експлуатаційних запасів Київського родовища питних підземних вод для ПрАТ «АК «Київводоканал» в м. Києві. – Київ: ДНВП «Геоінформ України», 2018. –Т.1 -198с. – Т.2 – 209с.

9. Шестопалов В.М., Гудзенко В.В., Руденко Ю.Ф., Соболевский Э.Э., Богуславский А.С. Отчет о научно-исследовательской работе «Развитие региональных наблюдений и мониторинг радиоактивного и химического загрязнения подземных вод зоны влияния аварии. Оценка долгосрочного риска техногенного загрязнения подземных вод. (Заключительный)». – Киев, 1996. – 202с.

10. Chiang W.-H., Kinzelbach W. 3D-Groundwater Modeling with PMWIN. Springer, Berlin, Heidelberg, 2001, 346 p.

11. Rudenko Yu., Yurkova N., Saprykin V., Gural O. Creation of a reliable water supply system for the urban population with protected groundwater in connection with possible emergency situations or military operations. Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment : Proc. of XVII Int. Sc. Conf., 07-10 November 2023. Kyiv : EAGE, 2023. P. 1-5.

12. Rudenko Yu., Yurkova N., Saprykin V., Gural O. Increasing the Reliability of Water Supply to the Population During Possible Natural and Man-Made Emergencies or the Introduction of Martial Law through Protected Groundwater (for Ukrainian Cities with a Population of over 100 Thousand People)// 18th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment, Apr 2025. - Kyiv: EAGE, 2025. - Volume 2025, P. 1–6. https://doi.org/10.3997/2214-4609.2025510224

References

Holub P.P., Kostiuk Ya.O., Patrikei H.Yu., Lisovyi I.O. (2021) *Geological-Economic Assessment of Exploitable Reserves of Potable Groundwater at the Brovary 1 Deposit in the Brovary City, Kyiv Region*. — Kyiv: Archives of the State Scientific and Production Enterprise "Geoinform of Ukraine", 158 p.

Litvak D.R., Kozmenko G.A., Solovitsky V.N. (1972) *Hydrogeological conditions and assessment of exploitable groundwater reserves in the Kyiv area (as of January 1, 1972).* — Kyiv: GRGP "Sevukrgeologiya".

Nikitash O.P., Liutyi H.H., Shevchuk O.I., Fedorenko A.S. (2001) *Geological and economic assessment of the Velyka Dymerka Drinking groundwater deposit for the domestic and drinking water supply of the "Coca-Cola Beverages Ukraine Ltd." soft drink plant in the Brovary District of the Kyiv Region, based on the results of detailed exploration conducted in 1999–2001 (including the calculation of exploitable reserves as of October 1, 2001).* — Kyiv: PDRGP "Pivnichgeolohiya".

Rudenko Yu.F., Yurkova N.A., Gural O.V., Saprykin V.Y. (2024) *Some Questions Regarding Local Drinking Water Supply for the Population During Martial Law (Using the*

Example of Ukrainian cities with a Population of over 100,000) Part 1. – Mineral Resources of Ukraine No. 4. Pp. 64–70. *https://doi.org/110.31996/mru.2024.4.64-70*

Rudenko Yu.F., Yurkova N.A., Gural O.V., Saprykin V.Y. (2025) *Some Questions Regarding Local Drinking Water Supply for the Population During Martial Law (Using the Example of Ukrainian cities with a Population of over 100,000) Part 2.* – Mineral Resources of Ukraine No. 2. Pp. 74-80. *https://doi.org/110.31996/mru.2025.2.74-80*

Rudenko Yu.F., Yurkova N.A., Gural O.V., Saprykin V.Yu. (2025) *Questions regarding Drinking Water Supply for the Population During Martial Law (using the example of Ukrainian cities with populations exceeding 100,000 located within the Black Sea artesian basin).* Geological Journal, No. 3. Pp. 55–65.

https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2025.3.333686

Rudenko Yu.F., Yurkova N.A., Gural O.V., Saprykin V.Yu. (2025) *Regarding the population's drinking water supply during martial law (using the example of Ukrainian cities with populations exceeding 100,000 located within the Donetsk Folded Region). Materials of the 10th International Scientific and Practical Conference "Subsoil Use in Ukraine: Investment Prospects"* (October 6–10, Lviv). State Commission of Ukraine on Mineral Resources (DKZ). Kyiv: DKZ, 2025, pp. 634–646.

Fedorenko A.S., Rudenko Yu.F., Buyan N.N., et al. (2018) *Geological and economic reevaluation of the exploitable reserves of the Kyiv potable groundwater deposit for PrJSC "PrC Kyivvodokanal" in the city of Kyiv.* – Kyiv: SSPE "Geoinform of Ukraine", – Vol.1 - 198 p. – Vol. 2 - 209 p.

Shestopalov V.M., Gudzenko V.V., Rudenko Y.F., Sobolevsky E.E., Boguslavskyi A.S. (1996) *Report on scientific research work "Development of regional observed and monitoring of radioactive and chemical contamination of groundwater in the zone of influence of the accident. Assessment of the long-term risk of technological pollution of underground waters. (Final)".* - Kyiv, 1996. - 202 p.

Chiang W.-H., Kinzelbach W. 3D-Groundwater Modeling with PMWIN. Springer, Berlin, Heidelberg, 2001, 346 p.

Rudenko Yu., Yurkova N., Saprykin V., Gural O. (2023) *Creation of a reliable water supply system for the urban population with protected groundwater in connection with possible emergency situations or military operations. Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*: Proc. of XVII Int. Sc. Conf., 07-10 November 2023. Kyiv : EAGE, 2023. P. 1-5.

Rudenko Yu., Yurkova N., Saprykin V., Gural O. (2025) *Increasing the Reliability of Water Supply to the Population During Possible Natural and Man-Made Emergencies or the Introduction of Martial Law through Protected Groundwater (for Ukrainian Cities with a Population of over 100 Thousand People)// 18th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*, Apr 2025. - Kyiv: EAGE, 2025. - Volume 2025, P. 1–6. https://doi.org/10.3997/2214-4609.2025510224

UDC 579.26:663.64:574

THE INFLUENCE OF PHYSICOCHEMICAL CHARACTERISTICS ON SPECIFIC FUNCTIONAL GROUPS OF MICROORGANISMS IN WATER FROM SOME WELLS OF KOSON DEPOSIT OF BEREGOVO DISTRICT, TRANSCARPATHIAN REGION

Rusakova M.*[1,2]*, *https://orcid.org/0000-0001-8858-0764, rusamariya@gmail.com;*
Shuliakova S.*[2]*, *https://orcid.org/0000-0002-6627-0949, svitlanasulakova@gmail.com*
1 – Odesa Mechnikov National University, Odesa, Ukraine,
2 – State Non-profit Enterprise «Ukrainian Research Institute of Rehabilitation and Balneology of the Ministry of Health of Ukraine», Odesa, Ukraine

Studying the interaction between the physicochemical properties of thermal mineral waters and the functional structure of their microbiota is important for assessing biogeochemical processes, the stability of the aquatic ecosystem, and the potential role of microorganisms in the transformation of inorganic and organic compounds. This study was comparative analysis of the qualitative and quantitative composition of specific physiological and ecological groups of microorganisms in the water of three wells at the Koson deposit of Beregovo district, Transcarpathian region. The results demonstrate a potential relationship between the physicochemical conditions of thermal mineral waters, particularly temperature, and the functional structure of the microbiota.

Keywords: thermal mineral waters, physiological and ecological microbial groups, temperature

Introduction. Geothermal waters are characterized by a combination of elevated temperature, mineralization, and a specific hydrochemical composition that form unique ecological niches for functionally diverse microbial associations. Studies of geothermal systems show that temperature, pH, major ion concentrations, total mineralization, and redox potential can significantly influence the structure and functional organization of microbiota [2].

Temperature is considered one of the key factors determining the distribution of microorganisms in thermal ecosystems, since a temperature increase limits the growth of mesophilic microorganisms and creates selective conditions for thermotolerant and thermophilic groups [5]. At the same time, the influence of temperature is not isolated, since the microbial structure of thermal waters is shaped by the complex influence of temperature conditions, mineralization, pH, concentrations of anions and cations, and the availability of electron donors and acceptors [4, 6].

Oxidation-reduction processes and the availability of Sulfur, Nitrogen, Iron, and Manganese compounds, that can serve as substrates or electron acceptors for specialized microbial functional groups, are of particular importance for the formation of microbial associations in water [3].

Aim. The aim of this study was to analyze the interactions between the main physicochemical characteristics of water from wells at the Koson deposit of Beregovo district, Transcarpathian region, and the amount of microbial functional groups that characterize the main processes of transformation of organic and inorganic compounds. Particular attention was paid to detection the potential influence of temperature and total mineralization on the distribution of saprophytic, ammonifying, denitrifying, thionic-, butyric acid-, hydrocarbon-, iron-, and manganese-oxidizing microorganisms.

Material and methods. This study detected the presence and spectrum of ecological-physiological groups of microorganisms in the waters of three wells (No. 1, No. 2, and No. 3) at the Koson deposit of Beregovo district, Transcarpathian region, using the culture method [1]. For each ecological-physiological group, the growth rate and number of microorganisms were determined. The growth rate of microorganisms was assessed on a point scale. The quantity of viable microorganisms was expressed as the number of colony-forming units per 1 cm^3 of water (CFU/cm^3).

Results and their discussion. The water from all three studied wells was characterized by the same total mineralization of 8-11 g/L and belonged to the chloride-sodium type with the presence of borate ions, indicating the relative stability of these physicochemical characteristics across the studies. In contrast to mineralization, the water temperature varied among the wells: 47-

53 °C in well No. 1, 38-40 °C in well No. 2, and 44-45 °C in well No. 3, which allows us to consider the temperature gradient as one of the potential factors associated with differences in microbiological parameters.

The largest number of functional microbial groups was detected in the water from well No. 2, which had the lowest temperature among the studied wells, in particular, heterotrophic amino acid producers, amylolytic, lipolytic, and iron- and manganese-oxidizing microorganisms were fixed. Thus, in well No. 2, the quantity of heterotrophic amino acid producers was 5.0×10^2 CFU/cm^3, whereas in wells No. 1 and No. 3 this group was not detected. This situation may indicate more favorable conditions for the development of the heterotrophic microbial component in water with a temperature of 38-40 °C.

A similar trend was observed for oligocarbotrophs: their number was 10^2 CFU/cm^3 in wells No. 1 and No. 2, whereas they were not detected in sample No. 3, indicating differences in the structure of available substrates.

The most significant differences were observed among ammonifying microorganisms: the number of aerobic members of this bacterial group was 10^5 CFU/cm^3 in the water from well No. 1, only 1 CFU/cm^3 in sample No. 2, and 10^8 CFU/cm^3 in sample No. 3, demonstrating distinct variability within this functional group. The number of ammonifying anaerobes also differed significantly among the wells, amounting to 10^4, 1, and 10^5 CFU/cm^3, respectively, which may reflect differences in the redox conditions and the availability of organic substrates.

Significant variability was also determined for denitrifying microorganisms: 10^6 CFU/cm^3 in No. 1, 1 CFU/cm^3 in No. 2, and 10^3 CFU/cm^3 in No. 3 wells, indicating varying potential for the transformation of Nitrogen-containing compounds in the studied waters.

The population density of thiobacteria, in particular *Thiobacillus thioparus*, was 10^5 CFU/cm^3 in wells No. 1 and No. 3, but only 10 CFU/cm^3 in well No. 2, which may indicate differences in the availability of reduced Sulfur-containing compounds or other components necessary for chemolithotrophic metabolism.

The number of butyric acid-producing microorganisms was recorded at 10^8 CFU/cm^3 in samples from wells No. 1 and No. 3, whereas in well No. 2 their quantity was only 10 CFU/cm^3. Thus, the highest amount of this functional group was observed in waters with a comparatively higher temperature.

Conclusions. Generally, the results obtained are consistent with those ones that indicate that temperature conditions and hydrochemical characteristics can be important determinants of the structure of thermal microbial associations. However, the specific direction and strength of this influence depend on a complex set of ecological factors [2, 6].

Thus, the data indicate that, given the same overall mineralization and similar chemical water types, there are significant differences in the abundance of functional groups of microorganisms between wells, suggesting an important role for temperature as an ecological factor.

References

1. Ніколенко С. І., Глуховська С. М., Хмєлєвська О. М., Петровська В. Б. (2011). Посібник з методів контролю природних мінеральних вод, штучно-мінералізованих вод, напоїв на їх основі та преформованих засобів. Ч. 2. Мікробіологічні дослідження. Київ: КІМ. 52 с.

2. Badhai, J., Ghosh, T. S., Das, S. K. (2015). Taxonomic and functional characteristics of microbial communities and their correlation with physicochemical properties of four geothermal springs in Odisha, India. Frontiers in microbiology, 6, 1166. https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.01166

3. Barbosa, C., Tamayo-Leiva, J., Alcorta, J., Salgado, O., Daniele, L., Morata, D., Díez, B. (2023). Effects of hydrogeochemistry on the microbial ecology of terrestrial hot springs. Microbiology spectrum, 11(5), e0024923. https://doi.org/10.1128/spectrum.00249-23

4. Chan, C. S., Chan, K. G., Ee, R., Hong, K. W., Urbieta, M. S., Donati, E. R., Shamsir, M. S., Goh, K. M. (2017). Effects of Physiochemical Factors on Prokaryotic Biodiversity in

Malaysian Circumneutral Hot Springs. Frontiers in microbiology, 8, 1252. https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.01252

5. Guo, L., Wang, G., Sheng, Y., Sun, X., Shi, Z., Xu, Q., Mu, W. (2020). Temperature governs the distribution of hot spring microbial community in three hydrothermal fields, Eastern Tibetan Plateau Geothermal Belt, Western China. The Science of the total environment, 720, 137574. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137574

6. Uribe-Lorío, L., Brenes-Guillén, L., Hernández-Ascencio, W., Mora-Amador, R., González, G., Ramírez-Umaña, C. J., Díez, B., Pedrós-Alió, C. (2019). The influence of temperature and pH on bacterial community composition of microbial mats in hot springs from Costa Rica. Microbiology Open, 8(10), e893. https://doi.org/10.1002/mbo3.893

УДК 624.131.5

ОЦІНКА ЗМІН ФІЛЬТРАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЛЕСОВИХ ҐРУНТІВ ПІД ВПЛИВОМ ВИБУХОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ ТА ЇХ НАСЛІДКИ

Деревягіна Н.І.*[1]*, *к. тех. н., доцент, dereviahina.n.i@nmu.one,*
Мокрицька Т.П.*[2]*, *д. геол. н., професор, mokritska@i.ua,*
1 – Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна,
2 – Інститут геологічних наук Національної академії наук України, м. Київ, Україна

Розглянуто зміни стану лесових ґрунтів під впливом вибухових навантажень та їх можливий вплив на фільтраційні властивості. Дослідження проведено для лесових ґрунтів дніпровського горизонту правобережної частини м. Дніпро. Експериментальні результати показали, що після вибухового впливу зміни фізико-механічних характеристик мають просторово-часовий характер, а їх інтенсивність зменшується з віддаленням від джерела навантаження. Окрему увагу приділено ролі вологості, для досліджуваних умов встановлено залежність об'ємної деформації ґрунту від відстані до джерела вибуху за різного ступеня зволоження. Отримані закономірності узгоджуються з результатами сучасних закордонних досліджень динамічної поведінки лесових ґрунтів. Показано, що структурні та об'ємні деформації можуть призводити до формування просторової неоднорідності фільтраційних властивостей лесової товщі, а подальші дослідження передбачають вивчення змін мікроструктури та порового простору лесових ґрунтів після вибухового навантаження та їх зв'язку зі зміною фільтраційних властивостей.

Ключові слова: лесові ґрунти, вибухове навантаження, фільтрація, вологість, мікроструктура.

ASSESSMENT OF CHANGES IN THE FILTRATION PROPERTIES OF LOESS SOILS UNDER BLAST LOADING AND THEIR CONSEQUENCES

Dereviahina N.*[1]*, *Cand. Sci. (Eng.) Associate Professor, dereviahina.n.i@nmu.one,*
Mokrytska T.*[2]*, *Dr. Sci. (Geol.), Professor, mokritska@i.ua,*
1 – Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine,
2 – Institute of Geological Sciences of the NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

The study focuses on the response of loess soils to blast loading and the potential implications of these changes for their filtration properties. The research was carried out on loess soils of the Dnipro horizon in the right-bank part of Dnipro, Ukraine. The results revealed spatial and temporal changes in the physical and mechanical properties of the soils after blast loading, with the most pronounced changes occurring close to the blast source and gradually decreasing with distance. Particular attention was given to the role of soil moisture. Under the investigated conditions, volumetric deformation varied with both distance from the blast source and initial moisture content. These patterns are consistent with recent international studies on the dynamic behaviour of loess soils. The results suggest that blast-induced structural and volumetric changes may contribute to spatial heterogeneity in the filtration properties of the loess sequence. Further research will focus on changes in soil microstructure and pore space after blast loading and their relationship with filtration properties.

Keywords: loess soils, blast loading, filtration, moisture content, microstructure.

Вступ. Лесові ґрунти характеризуються складною структурою, високою чутливістю до зміни вологості та здатністю істотно змінювати фізико-механічні властивості під дією природних і техногенних факторів [1-3]. Особливості формування та сучасного стану геологічного середовища Придніпровського регіону визначають значну просторову мінливість властивостей четвертинних відкладів та необхідність врахування комплексу техногенних факторів при оцінці їх стану [2, 3]. Для території м. Дніпро ці питання набувають особливого значення у зв'язку із значним поширенням лесових порід та інтенсивним освоєнням міського простору, а інженерно-геологічна типізація території міста показує необхідність урахування неоднорідності складу, стану і властивостей геологічних утворень при оцінці та прогнозуванні змін геологічного середовища [4].

На сьогодні, виділено ще окремий фактор впливу на сучасний стан геологічного середовища, а саме – динамічні навантаження, зокрема вибухові. Проведені авторами дослідження показали, що їх дія супроводжується значними змінами фізико-механічних характеристик лесових ґрунтів [5], та може призводити до розвитку просторово неоднорідних деформацій лесового масиву [6].

Разом з цим, трансформація структурного стану лесових ґрунтів впливає не лише на їх міцність і деформованість – ущільнення або розущільнення, руйнування структурних зв'язків, зміна об'єму та конфігурації пор визначають умови руху води в ґрунтовій товщі. Тому оцінка наслідків вибухового навантаження потребує врахування можливих змін фільтраційних властивостей лесових ґрунтів та, відповідно, умов перерозподілу вологи у масиві.

Метою роботи є оцінка можливих змін фільтраційних властивостей лесових ґрунтів під впливом вибухових навантажень на основі встановлених змін їх фізико-механічного стану та аналізу деформаційних змін за різного ступеня зволоження.

Матеріали та методи дослідження. Експериментальне дослідження виконано для зразків лесової товщі правобережної частини м. Дніпро – геологічний розріз території представлений комплексом четвертинних відкладів, серед яких значне поширення мають лесові суглинки, супіски та поховані ґрунти [2-4]. Визначались фізичні та фізико-механічні характеристики ґрунту, зокрема щільність, вологість, пористість, гранулометричний склад, питоме зчеплення та кут внутрішнього тертя. Після вибухового навантаження оцінено зміни характеристик залежно від відстані до джерела впливу, а також їх зміну в часі. Основні результати експериментального етапу дослідження наведено у роботі [5].

Для досліджуваних інженерно-геологічних умов проаналізовано залежність об'ємної деформації лесового ґрунту від відстані до джерела вибуху за різного ступеня зволоження: за вологості 10%, 18-20% та за вологості, близької до повного водонасичення. Коефіцієнт фільтрації в межах проведеної серії експериментів безпосередньо не визначався, тому оцінка його можливих змін виконана на основі встановлених просторово-часових змін фізико-механічного стану, характеру об'ємної деформації ґрунту та зіставлення отриманих закономірностей із сучасними дослідженнями динамічної поведінки лесових ґрунтів.

Результати та їх обговорення. Результати експериментальних досліджень підтвердили, що вибухове навантаження призводить до просторово неоднорідної зміни фізико-механічного стану лесового ґрунту, і найбільш інтенсивні зміни встановлено поблизу джерела вибуху, а зі збільшенням відстані від нього, їх прояв поступово зменшується [5].

Для досліджуваного лесового суглинку встановлено суттєві зміни питомого зчеплення, а саме – поблизу вибухової порожнини його величина збільшувалася приблизно у 2-2,5 рази порівняно з природним недеформованим станом. Далі, зі збільшенням відстані від джерела вибуху, значення показника поступово наближалися до вихідних. Просторові зміни встановлено також для кута внутрішнього тертя, що дозволяє оконтурити зону структурної трансформації лесового ґрунту навколо джерела вибуху [5].

Зміни характеристик ґрунту простежувалися і після припинення безпосереднього динамічного впливу – упродовж перших 6-7 діб після вибухового навантаження питоме зчеплення продовжувало збільшуватися, а його приріст становив близько 25-30% у порівнянні зі значеннями, встановленими безпосередньо після навантаження, а надалі інтенсивність змін зменшувалася, і через 30-35 діб досліджувані показники наближалися до відносно стабільного (попереднього) значення. Це підтверджує, що дія вибухового навантаження не обмежується короткочасною механічною деформацією масиву, а після припинення безпосередньо динамічного впливу продовжується перебудова структурного стану лесового ґрунту, характер якої залежить від початкових властивостей і ступеня його зволоження.

Для досліджуваних лесових ґрунтів правобережної частини м. Дніпро встановлено залежність об'ємної деформації від початкової вологості та відстані до джерела вибухового навантаження (рис. 1). Отримані для досліджуваних умов результати показують, що зі збільшенням відстані від джерела вибуху величина об'ємної деформації зменшується, але інтенсивність та її просторовий прояв залежать від ступеня зволоження

ґрунту. За меншого ступеня вологості найбільш виражені деформації концентруються поблизу джерела вибуху, зменшуючись із відстанню, тоді як зі збільшенням вологості – зона їх прояву розширюється.

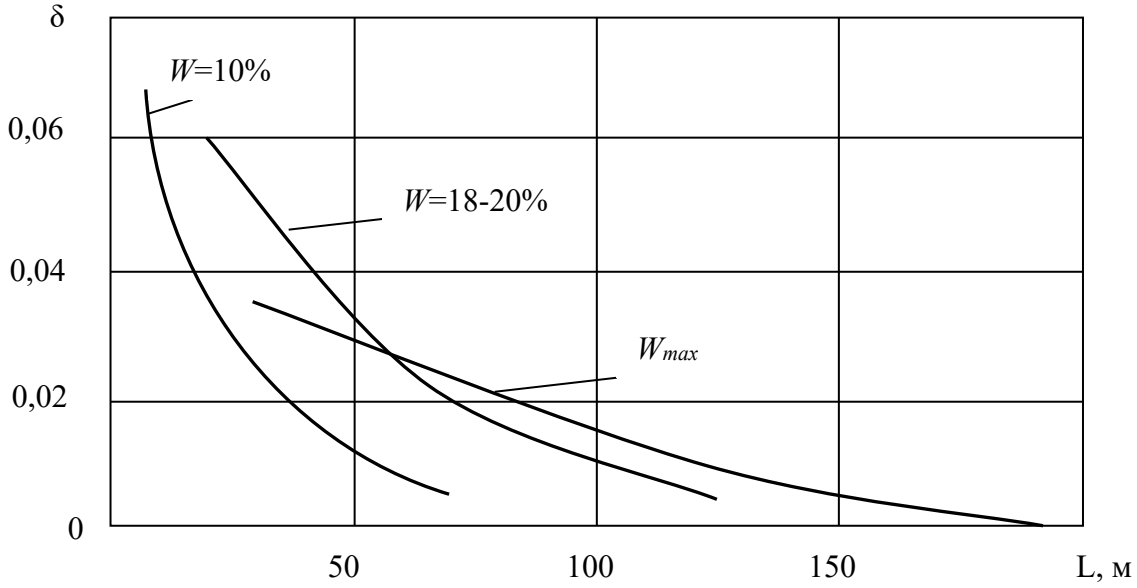


Рис. 1. Залежність об'ємної деформації досліджуваного лесового ґрунту від відстані до джерела вибуху за різного ступеня зволоження

Примітка: вологість ґрунту відповідно 10%, 18-20% та W_{max} – вологість, близька до повного водонасичення

Отримані для досліджуваних умов закономірності узгоджуються з результатами сучасних закордонних досліджень – наприклад, у роботі [9] встановили, що попереднє динамічне навантаження змінює подальшу поведінку непорушеного водонасиченого лесу, зі збільшенням попереднього динамічного впливу змінюються накопичені деформації, поровий тиск і міцнісні характеристики. У роботі [10] також показано, що попередній динамічний вплив та подальша реконсолідація змінюють динамічні характеристики водонасиченого лесу, а встановлені макроскопічні зміни пов'язані з перебудовою його мікроструктури.

Об'ємна деформація супроводжується перебудовою порового простору – зміною розмірів, конфігурації та сполученості пор, у цьому розрізі цікаві результати [10], які показують, як динамічний вплив і подальше ущільнення водонасиченої лесової породи супроводжуються змінами порового простору, а із зростанням ущільнення частина сполучених пор блокується.

Відповідно, напрям зміни фільтраційних властивостей у межах зони вибухового впливу неоднорідний, на ділянках переважного ущільнення скорочення та перебудова порового простору будуть сприяти зменшенню водопроникності. При цьому у зонах інтенсивного структурного порушення, розущільнення та руйнування структурних зв'язків, можуть створювати локальні зони підвищених коефіцієнтів фільтрації.

Отже, вплив вибухового навантаження доцільно розглядати не як фактор односпрямованої зміни коефіцієнта фільтрації в межах усієї зони впливу, а як передумову формування просторової неоднорідності фільтраційних властивостей лесової товщі. Поблизу джерела вибуху можуть формуватися ділянки інтенсивного структурного порушення, а далі ділянки локального ущільнення, тоді як у периферійній частині характеристики ґрунту поступово наближаються до початкового стану. Формування такої неоднорідності може змінювати умови інфільтрації та перерозподілу вологи в лесовій товщі. Враховуючи залежність фізико-механічних властивостей лесових ґрунтів від вологості, зміна умов фільтрації, у свою чергу, може впливати на подальший стан стійкості масиву.

Наступним етапом дослідження є вивчення мікроструктури лесових суглинків до та після вибухового навантаження - передбачається оцінка змін розмірів, форми та розподілу пор, стану структурних зв'язків та можливого формування мікротріщин. Доцільність такого підходу підтверджується сучасними дослідженнями, в яких зміни динамічних характеристик лесів розглядаються разом зі змінами його мікроструктури [10], це дозволить встановити кількісний зв'язок між трансформацією порового простору та зміною фільтраційних властивостей досліджуваного лесового ґрунту.

Наукова новизна роботи полягає в обґрунтуванні можливості формування просторової неоднорідності фільтраційних властивостей лесової товщі під впливом вибухового навантаження, на основі встановлених для умов м. Дніпра просторово-часових змін фізико-механічного та деформаційного стану лесових ґрунтів.

Висновки.

1. Для лесових ґрунтів дніпровського горизонту м. Дніпра встановлено зміни їх фізико-механічного стану під впливом вибухового навантаження, найбільш виражені зміни спостерігаються поблизу джерела впливу та поступово зменшуються зі збільшенням відстані. Встановлено залежність об'ємної деформації досліджуваного ґрунту від ступеня зволоження – зі збільшенням вологості змінюються інтенсивність та просторова протяжність деформацій. Отримані для умов м. Дніпро закономірності узгоджуються з результатами сучасних закордонних досліджень динамічної поведінки лесових ґрунтів.

2. Просторово неоднорідна структурна та об'ємна деформація створює передумови для оцінки зміни фільтраційних властивостей лесової товщі. Вибухове навантаження є одним з факторів формування просторової неоднорідності фільтраційних властивостей лесових ґрунтів, що необхідно враховувати при оцінці та прогнозуванні змін стану геологічного середовища урбанізованих територій.

3. Наступним етапом дослідження є вивчення мікроструктури лесових ґрунтів до- та післявибухового навантаження та визначення їх фільтраційних характеристик. Поєднання цих результатів дозволить встановити зв'язок між трансформацією порового простору та зміною водопроникності лесових ґрунтів.

Список використаних джерел:

1. Мокрицька Т. П. Формування та еволюція геологічного середовища Придніпровського промислового регіону: монографія. Дніпропетровськ: Ліра, 2013. 278 с.
2. Манюк В. В. Особливості будови четвертинних відкладів у типових розрізах Середнього Придніпров'я. Вісник Дніпропетровського університету. Серія: Геологія. Географія. 2014. Вип. 15. С. 2–9.
3. Мокрицька Т. П., Євграшкіна Г. П., Манюк В. В., Бондар О. В., Баранов П. Н., Самойлич К. О. Небезпечні стани та явища у геологічному середовищі на прикладі міст Середнього Придніпров'я: монографія. Дніпро: ПП Акцент, 2019. 205 с.
4. Мокрицька Т. П., Деревягіна Н. І. Інженерно-геологічна типізація як основа оцінки та прогнозу ризиків освоєння підземного простору мегаполісів на прикладі міста Дніпро. Геологічний журнал. 2025. № 2 (391). С. 45–55. DOI: 10.30836/igs.1025-6814.2025.2.332979.
5. Садовенко І. О., Мокрицька Т. П., Деревягіна Н. І., Онищенко С. В. Дослідження закономірностей деградації міцнісних властивостей ґрунтового масиву внаслідок динамічних (вибухових) навантажень. Збірник наукових праць Національного гірничого університету. 2025. № 81. С. 99–105. DOI: 10.33271/crpnmu/81.099.
6. Sadovenko I. A., Derevyagina N. I., Podvigina E. O., Zagricenko A. N. Dynamics of loess mass deformation due to technogenic load. Збірник наукових праць Національного гірничого університету. 2014. Вип. 45. С. 76–81.
7. Ambrosini D., Luccioni B. Effects of underground explosions on soil and structures. Underground Space. 2019. Vol. 5, No. 4. P. 241–251. DOI: 10.1016/j.undsp.2019.09.002.

8. González-Nicieza C., Álvarez-Fernández M. I., Álvarez-Vigil A. E. et al. Influence of depth and geological structure on the transmission of blast vibrations. Bulletin of Engineering Geology and the Environment. 2014. Vol. 73. P. 1211–1223. DOI: 10.1007/s10064-014-0595-7.

9. Liu W., Chen W., Wang Q., Wang J., Lin G. Effect of pre-dynamic loading on static liquefaction of undisturbed loess. Soil Dynamics and Earthquake Engineering. 2020. Vol. 130. 105915. DOI: 10.1016/j.soildyn.2019.105915.

10. Wang Q., Wang Y., Ma W., Tao D. Dynamic Characteristics of Post-Cyclic Saturated Loess. Applied Sciences. 2023. Vol. 13, No. 1. 306. DOI: 10.3390/app13010306

ЗЕЛЕНИЙ ПЕРЕХІД: ВИКЛИКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ



UDC 620.91:551.24

UNLOCKING GEOTHERMAL POTENTIAL FOR RESILIENT GREENHOUSE HEATING IN LVIV, UKRAINE: A PATHWAY TO SUSTAINABLE AGRICULTURE AND ENERGY SECURITY

Demchuk Yu.*[1]*, *y.demchuk@geothermalukraine.org;*
Popadynets T.*[1]*, *PhD, t.popadyrets@geothennalukraine.org;*
Godschalk B.*[2]*, *bas.godschalk@dtess.com;*
Veldkamp H.*[3]*, *H ans.veï dkamp@tno.nl,*
1 – NGO Geothermal Ukraine, Ixano-Frankh'sk, Ukraine,
2 – DTESSBV, Zwolle, The Netherlands,
3 – TNO - Geological Survey of the Netherlands, Utrecht, The Netherlands

Lviv region of Ukraine, with its strong agricultural sector, faces significant energy challenges due to dependence on imported fossil fuels. These vulnerabilities have been intensified by the ongoing war, which has damaged energy infrastructure and increased energy prices. As a result, many greenhouse farms have reduced or ceased operations, threatening regional food production and economic stability. This paper assesses the potential of geothermal energy for greenhouse heating in the Busk area of western Ukraine. The study integrates geological, geophysical and hydrothermal data from existing wells and historical exploration datasets to evaluate the technical feasibility of geothermal heating and its potential contribution to energy resilience, considering economic, regulatory and market aspects. Two main geological horizons were investigated: the Neogene (ND-14) formation in the Pre-Carpathian Depression and Devonian formations of the East European Platform. Preliminary temperature estimates indicate that moderate-temperature geothermal resources may occur at depths of around 2 km, with expected temperatures of approximately 60 °C in southern and up to 70 °C in northern Lviv region. Although permeability data remain limited, the results indicate that geothermal energy could provide a viable renewable heat source for greenhouse heating, supporting Ukraine's energy transition, agricultural resilience and regional energy security.

Keywords: geothermal energy, greenhouse heating, renewable energy, Lviv region, Ukraine.

Introduction. Ukraine's agricultural sector plays a critical role in national food security and regional economic stability. Greenhouse horticulture is particularly important because it enables year-round vegetable production. However, greenhouse operations are highly dependent on reliable and affordable heat supply.

Historically, heating systems in Ukraine have relied heavily on natural gas. The war has significantly disrupted the energy system, leading to increased energy prices and supply uncertainty. These developments highlight the need for alternative and locally available energy sources.

Geothermal energy offers a promising solution. As a baseload renewable energy source, geothermal heat can provide stable and long-term heating independent of weather conditions. Successful geothermal greenhouse projects in countries such as the Netherlands, Hungary and Turkey demonstrate that geothermal heat can significantly reduce operational costs and carbon emissions.

This study evaluates the geothermal potential for greenhouse heating in the Lviv region and explores how geothermal energy could contribute to energy resilience and sustainable agricultural development in Ukraine. The region also has a strong agricultural profile and a strategic location close to the EU border, which increases the relevance of reliable local heat sources for protected horticulture and food supply.

Geological setting and geothermal conditions. The Lviv region is situated in western Ukraine at the junction of several major tectonic domains: the East European Platform, the Pre-Carpathian Depression and the outer Carpathian Fold Belt. This transitional setting creates strong lateral variations in stratigraphy, burial history and thermal regime, which are directly relevant for geothermal prospectivity.

From a stratigraphic perspective, the area comprises thick sedimentary successions ranging from the Upper Proterozoic and Paleozoic to Mesozoic and Cenozoic units overlying an Archean-Proterozoic crystalline basement. In the northeastern and central parts of the region, the Volyn-Podillia Plate forms the main structural element, while the southwestern

part is characterised by the foredeep related to Carpathian tectonic loading. The Neogene molasse sequence in the Pre-Carpathian Depression and the deeper Devonian section on the East European Platform were identified as the two most relevant horizons for a first-order geothermal screening.

A review of geological surveys, historical reports, production records and litho-stratigraphic columns was combined with data from 93 hydrothermal and hydrocarbon wells from 12 regional oil and gas fields (Figure 1). A dedicated well database was compiled including depth, gross thickness, net-to-gross ratio, porosity, permeability indicators and formation temperature. The heterogeneous spatial distribution of these data is itself an important result: it allows regional screening, but also introduces substantial uncertainty in peripheral areas where extrapolation is required to assess the parameters that are relevant for assessing the geothermal potential.

The regional geothermal regime shows a generally favourable temperature increase, with higher gradients in the northwest (28.1 °C/km) compared to the south (24.4 °C/km). At a depth of about 2,000 m, temperatures in the Lviv region typically range from 40 to 60 °C, with the fold-development zone reaching approximately 50 to 55 °C and locally higher values towards the Pre-Carpathian Depression. Average geothermal gradients mostly fall in the range of 2.0 to 2.9 °C/100 m, while deeper heat-flow values increase towards the southwest.

Based on the integrated geological and geothermal analysis, two key reservoir horizons were identified as the most promising targets for geothermal energy development.

The ND-14 horizon (Neogene), located approximately 50 km southwest of Lviv within the Pre-Carpathian Depression, represents the most favourable geothermal reservoir identified in the study. The sandstone-dominated ND-14 interval occurs at depths between approximately 1,400 and 3,500 m and commonly exhibits formation water temperatures exceeding 50 °C. Reservoir properties are generally favourable, with porosity values ranging from 10 to 23% and permeability reaching up to 100 mD. The wide regional distribution of this horizon, together with the presence of numerous existing oil and gas wells, makes it particularly attractive for geothermal repurposing. These characteristics indicate strong potential for direct-use geothermal applications, including greenhouse heating and urban heat supply.

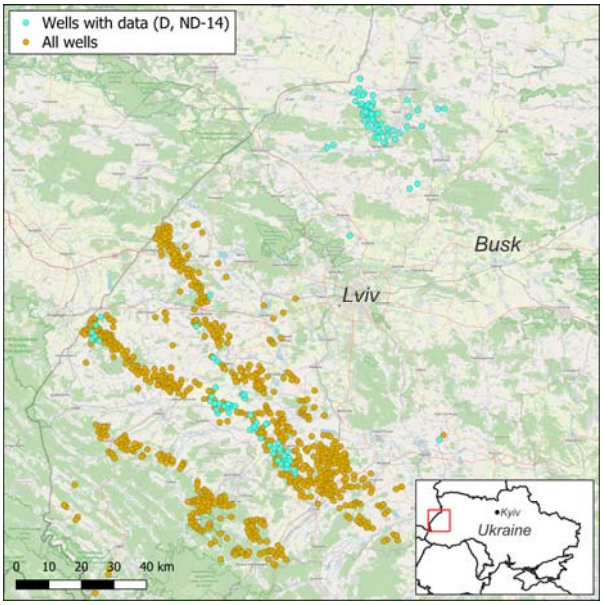


Fig. 1. Spatial distribution of hydrothermal and hydrocarbon wells used in the regional assessment of the Lviv region

A secondary geothermal target was identified in the Devonian (D) rocks, located approximately 50 km north of Lviv within the East European Platform. This interval consists primarily of sandstones, dolomites and limestones occurring at depths of around 2,300 m. Formation temperatures are estimated to range between 40 and 95 °C depending on local burial

depth and geothermal gradient. Although the average permeability of the Devonian layer is generally lower than that of the Neogene sandstones and available data are more limited. These conditions suggest that the Devonian horizon could support low-enthalpy geothermal development, particularly for direct heat-use applications. Among the identified targets, the ND-14 horizon in the Pre-Carpathian Depression currently represents the most promising candidate for initial geothermal deployment in the region.

Methodology. The geothermal potential assessment combined geological analysis with geothermal screening methods. Historical well data and geological reports were compiled and digitised. Litho-stratigraphic columns and reservoir data were analysed to identify potential geothermal aquifers.

The two most determining factors for the technical geothermal potential are temperature and permeability. A minimum temperature threshold of 50 °C was used as a screening criterion for geothermal applications related to greenhouse heating. Where permeability data were unavailable, estimates were derived from analogous geological formations and regional geological understanding.

Temperature distribution maps were developed for key reservoir depths to assess regional geothermal gradients and identify promising zones for further investigation.

Two software tools were used for the assessment: DoubletCalc1D (a 1D tool that calculates geothermal power based on reservoir and well properties, (Mijnlieff et al., 2014)) and ThermoGIS (a 2D mapping tool that builds on DoubletCalc1D but uses spatial grids to model variations in reservoir properties across the region, (Kramers et al., 2010; Mijnlieff et al., 2014; Van Wees et al., 2012; Vrijlandt et al., 2020).

Results. The integrated assessment confirms that geothermal prospectivity in the Lviv region is controlled by the combination of temperature, transmissivity and data coverage. Temperature mapping at 2,000 m depth shows a clear southwestward increase, with lower values of roughly 40-45 °C in the northeastern part of the Lviv Paleozoic Depression and more favourable values of 50-55 °C in the fold-development zone. This first-order pattern is consistent with increasing burial depth and sediment thickness and heat flow towards the Pre-Carpathian domain.

For the Devonian interval, the overall geothermal outlook is weak. Although this horizon occurs at attractive depths in parts of the East European Platform, the expected geothermal gradient is comparatively low and the available evidence does not support the combination of temperature and permeability needed for a robust greenhouse-heating case. As a result, the Devonian was not selected as the primary candidate for near-term development.

For the Neogene ND-14 interval, the assessment is more positive. ThermoGIS-based screening and supporting DoubletCalc1D scenario analyses indicate that, within the better-performing part of the play and for reservoir-top depths up to about 2,000 m, possible geothermal power may reach approximately 30 MW_{th} (P10), while probable power at around 2 MW_{th} (P50). Reasonably certain power (P90) was not identified, mainly because the transmissivity remains highly uncertain. The dominant technical uncertainty is permeability; where direct measurements were absent, regional analogues and conservative assumptions had to be used.

The implications for the Busk greenhouse case are twofold. First, the immediate vicinity of Busk itself does not yet show a confirmed high-probability geothermal target. Second, the broader play southwest of Lviv appears sufficiently promising to justify further derisking, especially because the planned expansion to around 20 ha of greenhouse area creates a substantial and relatively stable heat demand. According to the greenhouse energy analysis, winter peak demand can reach about 37 MW for a 20 ha development, while summer demand remains low. Geothermal heat would therefore be best applied to cover the baseload, with supplementary technologies such as peak boilers or heat pumps bridging the seasonal and temperature mismatch between reservoir supply and greenhouse heat-distribution systems.

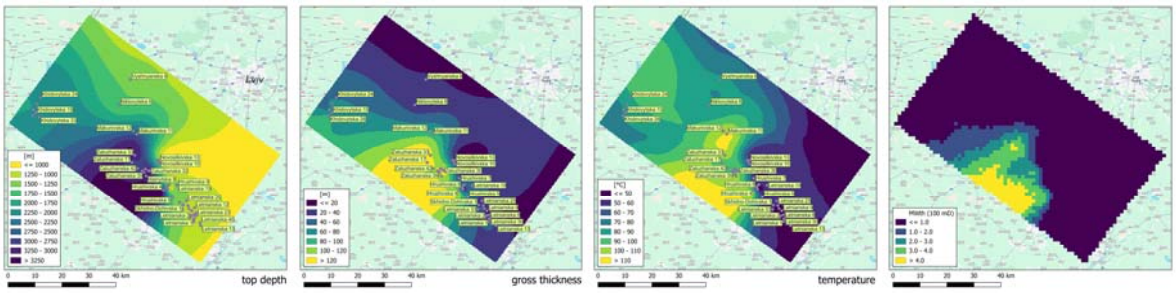


Fig. 2. ThermoGIS results for the ND-14 horizon: top depth, gross thickness, temperature and potential power

Discussion. The results indicate that geothermal development in western Ukraine should be framed as a phased resource-development programme rather than as a single isolated project. The ND-14 horizon combines encouraging temperatures with large uncertainty in net-to-gross ratio and permeability. In practice, this means that a play-based exploration strategy is more appropriate than a one-off project decision. Such an approach can progressively improve the probability of success through shared learning from seismic acquisition, dedicated exploration wells and data integration across the wider play.

From a market perspective, the case for geothermal heat in greenhouse horticulture is strengthened by the current Ukrainian energy context. Greenhouse production is highly sensitive to heat cost, while electricity remains significantly more expensive than gas for thermal supply. At the same time, gas-price volatility, security-of-supply concerns and war-related infrastructure disruptions all increase the strategic value of a local baseload heat source. For operators such as FoodVentures, geothermal energy could therefore serve not only as a decarbonisation measure, but also as a resilience asset that stabilises long-term operating costs and reduces dependence on imported fossil fuels.

However, non-technical barriers remain substantial. Ukraine's regulatory regime for geothermal use is still fragmented, with groundwater treated simultaneously under water-use and subsoil legislation. For direct-use projects, including greenhouse heating, this could create a dual permitting and rental-payment structure that is administratively burdensome and poorly tailored to agricultural heat projects. In addition, direct-use geothermal applications currently do not benefit from a dedicated support mechanism comparable to the incentives historically created for renewable electricity generation.

These barriers do not negate the opportunity, but they do shape the recommended next steps. The most credible pathway is to combine further subsurface derisking with pilot development, targeted policy refinement and blended public-private financing. National strategies increasingly recognise geothermal energy within broader energy-transition goals, and donor-supported recovery programmes may help close the gap between early-stage exploration risk and bankable project development. Within that context, a pilot greenhouse-heat project linked to the wider southwest-Lviv play could become a demonstrator for broader applications in horticulture, district heating and other large-scale heat uses in Ukraine.

Conclusions. The study demonstrates that the Lviv region has promising geothermal potential that could support greenhouse heating. Moderate-temperature geothermal resources may be present at accessible depths and could provide a stable and renewable heat source.

Further exploration and pilot projects are required to confirm reservoir performance and economic feasibility. If successfully developed, geothermal energy could contribute to Ukraine's energy independence, climate goals and agricultural resilience.

Acknowledgements. This study was supported by the Netherlands Enterprise Agency (RVO) and the Embassy of the Kingdom of the Netherlands in Ukraine. The authors gratefully acknowledge their support in facilitating the collaboration between Dutch and Ukrainian partners and enabling the assessment of geothermal opportunities for sustainable greenhouse heating in the Lviv region.

References

1. Shablii O.I., Mukha B.P., Huryn A.V., Zinkevich M.V. Geography: Lviv region, Teaching and methodical manual - Lviv: Prolog, 1998. Available online: https://geoknigi.com/book_view.php?id=20

2. Kramers, L., Van Wees, J. D., Mijnlieff, H. F., & Kronimus, R. A. (2010). ThermoGIS–An Integrated Web-based Information System for Geothermal Exploration and Governmental Decision Support for M. Paper presented at the

3. Mijnlieff, H. F., Obdam, A. N. M., Wees, J. D., Pluymaekers, M. P. D., & Veldkamp, J. G. (2014). DoubletCalc 1.4 manual. English version for DoubletCalc 1.4.3. (No. TNO 2014 R11396). Utrecht, The Netherlands: TNO. https://www.nlog.nl/sites/default/files/6ab98fc3-1ca1-4bbe-b0a2-c5a9658a3597_doubletcalc%20v143%20manual.pdf

4. Van Wees, J. D., Kronimus, A., Van Putten, M., Pluymaekers, M., Mijnlieff, H., Van Hooff, P., Obdam, A., & Kramers, L. (2012). Geothermal aquifer performance assessment for direct heat production–Methodology and application to Rotliegend aquifers. Netherlands Journal of Geosciences, 91(04), 651–665.

5. Vrijlandt, M. A. W., Struijk, E. L. M., Brunner, L. G., Veldkamp, J. G., Witmans, N., Maljers, D., & Van Wees, J. D. (2020). ThermoGIS: from a Static to a Dynamic Approach for National Geothermal Resource Information and Development. Paper presented at the World Geothermal Congress, Reykjavik, Iceland.

6. Y. V. Demchuk, H. A. Liventseva, Geothermal Overview Of Ukraine, State Institution «Scientific Center of Mining Geology, Geoecology and Infrastructure Development» National Academy Of Sciences Of Ukraine, Mining Geology And Geoecology № 1 (6), 2023, p.64-79. DOI: https://doi.org/10.59911/mgg.2786-7994.2023.1(6).287850.

UDC 620.92:662.997

FROM TECHNOLOGY POTENTIAL TO INDUSTRIAL DEPLOYMENT: AN EVIDENCE-BASED FRAMEWORK FOR GEOTHERMAL HEATING AND COOLING

DemchukY.*[1]*, *y.demchuk@geothermalukraine.org;*
Popadynets T.*[2]*, *t.popadynets@geothermalukraine.org;*
Bonciani D.*[3]*, *d.bonciani@cosvig.it;*
Talluri L.*[4]*, *lorenzo.talluri@unifi.it;* ***Ahern J.*[5]*,*** *ahern@apre.it,*
1 – NGO Geothermal Ukraine, Ivano-Frankivsk, Ukraine,
2 – PhD, NGO Geothermal Ukraine, Ivano-Frankivsk, Ukraine,
3 – COSVIG, Consorzio per lo Sviluppo delle Aree Geotermiche, Larderello (Pisa), Italy,
4 – Università degli Studi di Firenze, Dipartimento di Ingegneria Industriale, Firenze, Italy,
5 – APRE, Agenzia per la Promozione della Ricerca Europea, Rome, Italy

Industrial geothermal heating and cooling (H&C) can contribute to reducing fossil-fuel dependence in processes requiring low- and medium-temperature heat, while also enabling industrial cooling, heat upgrading and thermal storage. However, technical potential does not automatically translate into industrial deployment. Fragmented information on existing applications, limited environmental data, uncertainty regarding performance and costs, and insufficient stakeholder knowledge can constrain investment and replication. This paper presents an evidence-based framework developed within the Horizon Europe GEOSYN project (ID: 101172812) to support the deployment of geothermal H&C in industry. The approach integrates four complementary components: (i) mapping of existing geothermal H&C applications to provide practical evidence on technologies, sectors and implementation experience; (ii) stakeholder assessment through workshops and surveys in Italy and Ukraine; (iii) development of Life Cycle Inventory datasets as a quantitative basis for future environmental assessment; and (iv) translation of technical, environmental and stakeholder evidence into targeted engagement and communication tools.

Keywords: geothermal heating and cooling; industrial decarbonisation; stakeholder engagement; life cycle inventory.

Introduction. Industrial energy demand remains a major component of Europe's energy system. Industry accounted for 23.9% of EU final energy consumption in 2024 [1], while process heat represents a substantial share of industrial energy demand [2]. Although the contribution of renewable energy to heating and cooling has increased significantly over the last two decades [3], many industrial processes remain dependent on fossil fuels and electricity.

A particularly relevant market is process heat below approximately 200°C. Around 730 TWh/year of European industrial process heat is estimated to fall within this temperature range, representing approximately 37% of total process heat demand [5]. This creates opportunities for heat pumps and other technologies capable of upgrading renewable or waste heat. Industrial cooling represents an additional energy demand that can be addressed through thermally driven technologies and integrated heating and cooling systems.

Geothermal energy offers several characteristics that are relevant to these applications. Unlike variable renewable sources, geothermal resources can provide continuous thermal energy and can therefore contribute to stable industrial operation. Depending on local geological conditions, geothermal heat can be used directly, upgraded using heat pumps, combined with thermal storage, or integrated into cascade systems in which different temperature levels are exploited sequentially [6–9].

Potential applications include food and beverages, agriculture, pulp and paper, chemicals, textiles, wood processing and other heat-intensive industries. However, geothermal deployment in industry remains limited compared with its technical potential. Resource availability alone does not determine project development. Industrial users also need reliable information on technology performance, costs, environmental implications, operational experience and project risks.

The deployment gap can therefore be understood as the distance between technical potential and practical uptake. This gap is influenced by several interconnected factors:

fragmented information on existing applications, limited visibility of successful projects, uncertainty regarding costs and performance, lack of environmental data, insufficient understanding of geothermal technologies and concerns among local stakeholders.

The GEOSYN project addresses this challenge while developing a high-temperature geothermal heating and cooling system. The project combines technology development with activities designed to generate and organise evidence relevant to future deployment. This paper presents the resulting framework and its four main components: mapping of existing applications, stakeholder assessment, environmental evidence through Life Cycle Inventories (LCIs), and evidence-based engagement.

GEOSYN Technology and Industrial Application. GEOSYN develops an integrated geothermal heating and cooling concept based on a steam high-temperature heat pump (HTHP) and a heat-driven refrigeration cycle, both using water (R718) as the working fluid. The concept is designed to maximise the use of low- and medium-temperature geothermal resources and to enable their integration into industrial processes requiring higher temperatures.

The HTHP is designed to provide an approximately 80 K temperature lift, increasing geothermal heat from around 120°C to approximately 200°C. Water is a non-toxic, non-flammable and widely available working fluid with zero global warming potential. The system incorporates four compression stages with intermediate desuperheating to reduce discharge temperatures and compressor workload. The cooling component provides approximately 20 kW of cooling at 12°C, with an expected thermal COP of approximately 0.4. It uses geothermal steam at approximately 130°C to drive a refrigeration cycle operating under sub-atmospheric pressure. A liquid reservoir and cold-storage function help buffer fluctuations in cooling demand.

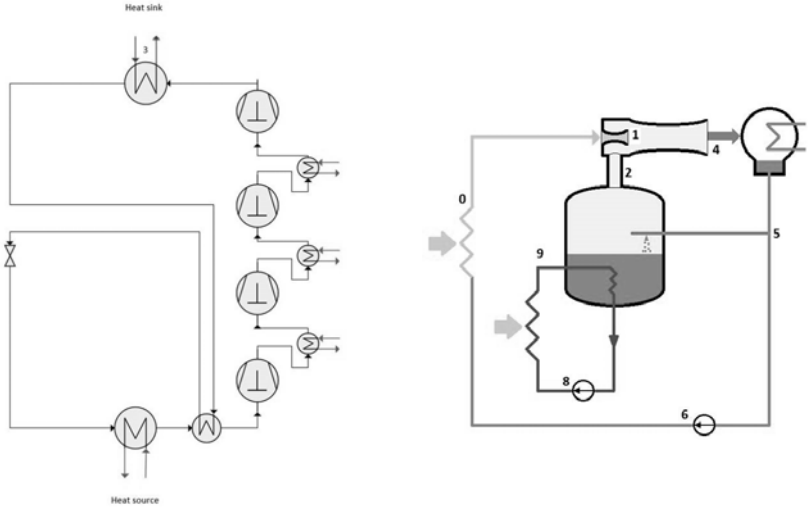


Fig. 1. Schematic of the GEOSYN high-temperature heat pump and heat-driven refrigeration cycle

The technology will be demonstrated using geothermal steam at the San Martino Dairy Factory in Italy. Replication and deployment potential are assessed through additional industrial contexts, including a Ukrainian cement plant and five other industrial sites. The technology development therefore provides the technical foundation of the GEOSYN deployment pathway. However, moving from a validated technology to wider industrial uptake requires evidence beyond technical performance. The subsequent activities were designed to address this broader deployment requirement.

Mapping Existing Geothermal H&C Applications. One of the first barriers to industrial deployment is the limited visibility of existing applications. Potential users may be aware of geothermal energy for electricity generation, district heating or bathing, but have less information about its application to industrial heating, cooling, heat upgrading and process integration. To address this gap, GEOSYN developed a structured database of

existing geothermal H&C applications lead by COSVIG. Information was collected from scientific literature, EU-funded projects, conference proceedings, company information, professional networks, sector organisations and direct communication with project developers and operators.

The database includes technical and contextual information on the geographical location, application sector, geothermal resource and temperature, heating and/or cooling application, integration with the production process, and the share of geothermal energy in total energy demand where available. It also captures environmental and economic information, implementation barriers, operational experience and lessons learned.

The mapping identified 94 geothermal H&C examples, of which 86 are located in Europe. Among these, 62 are industrial applications, while 32 relate to balneology. The applications cover six main sectors, with the agrifood sector representing the largest group, with 34 identified examples.

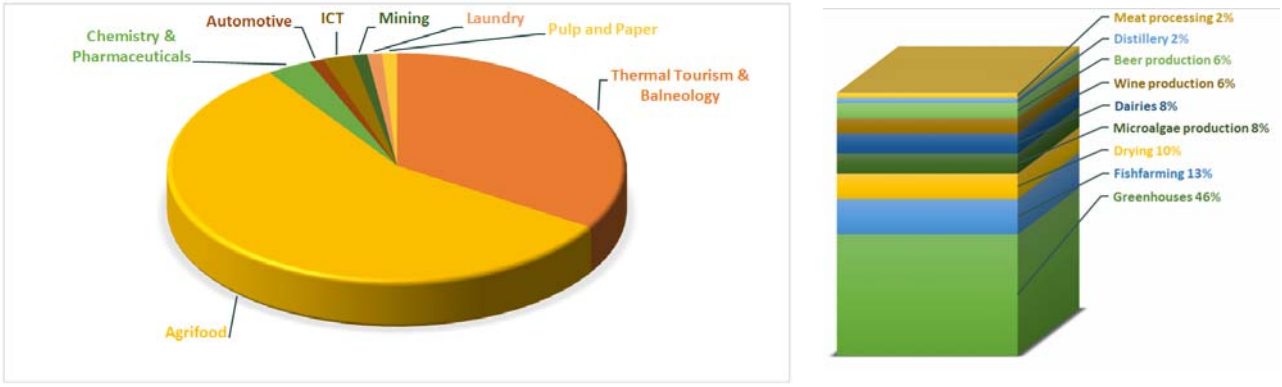


Fig. 2. Distribution of mapped geotherZZmal H&C applications by sector and examples of applications in the agrifood sector

The collected information was subsequently integrated into an interactive webGIS (available online: https://geosynproject.eu/existing-applications/). The objective is not only to provide a geographical inventory but also to make practical experience accessible to potential users. Real-world examples can provide information that is difficult to obtain from technology descriptions alone: how geothermal energy is integrated into a production process, which temperature levels are used, what additional technologies are required and which challenges were encountered during implementation. The database therefore represents an evidence layer supporting technology replication and early-stage industrial decision-making.

Stakeholder and Social Evidence for Deployment. Technical and economic feasibility does not fully determine whether a geothermal project can be implemented. Local communities, authorities, industrial stakeholders and other actors can influence permitting, investment decisions and project development. GEOSYN therefore assessed stakeholder perceptions in two different national contexts: established geothermal territories in Italy and emerging geothermal regions in Ukraine. The assessment focused on four main dimensions: knowledge, perceived risks, expected benefits and institutional trust.

The work combined a literature review with participatory activities and questionnaires. Two stakeholder events provided qualitative evidence: a workshop in Piancastagnaio, Tuscany, and a webinar addressing geothermal energy and communities in Ukraine. The Italian discussion highlighted issues including heating costs, employment, transparency, communication and environmental and landscape considerations. Ukrainian participants placed particular emphasis on knowledge development, employment, economic feasibility and alignment with national energy and energy-security objectives. An additional questionnaire collected 244 responses across the two countries. Respondents were asked

about their knowledge of geothermal energy, perceived environmental and social impacts, institutional trust, expected benefits and perceived risks.

The results showed differences between the two contexts. Italian respondents generally demonstrated greater familiarity with geothermal energy, reflecting the country's longer history of geothermal development. Ukrainian respondents had lower initial awareness but expressed strong interest in potential contributions to energy independence, resilience, employment and economic development. The perceived risks also reflected local context. Italian concerns included landscape impacts, emissions and pollution, while Ukrainian respondents more frequently identified groundwater, ecosystems and institutional transparency as relevant issues.

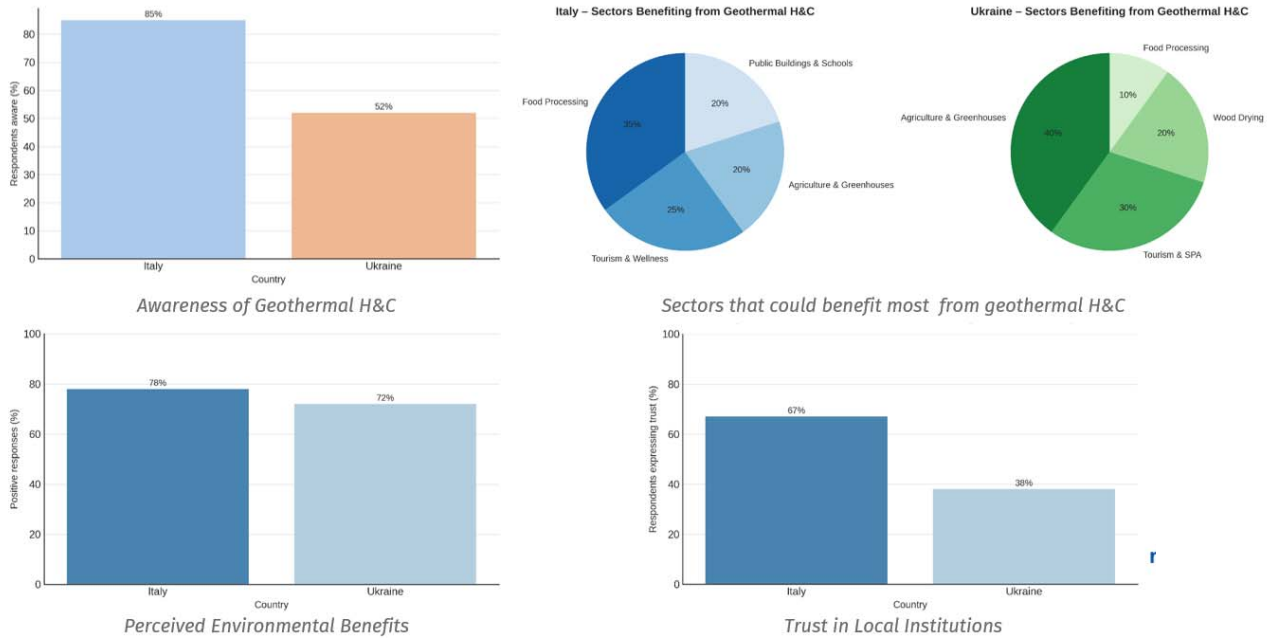


Fig. 3. Main concerns and expected benefits identified by survey respondents

An important finding for the deployment framework is that stakeholder engagement cannot rely on a generic communication message. The relevant evidence indicates that information needs differ according to territorial context and previous experience with geothermal energy. Practical examples, transparent information on risks and benefits, and opportunities for dialogue can therefore complement technical communication. The results were subsequently used to define target audiences and communication needs within GEOSYN.

Environmental Evidence through Life Cycle Inventories. Environmental performance is another important component of industrial decision-making. While geothermal energy is generally associated with low operational emissions, the environmental performance of a specific system depends on its construction, equipment, energy consumption, resource characteristics and operating conditions. GEOSYN therefore developed Life Cycle Inventory datasets as the environmental evidence layer of the deployment framework. The LCI follows the second phase of the LCA methodology established by ISO 14040 and ISO 14044 and provides a quantitative representation of material and energy flows associated with the investigated systems. The inventory includes the construction, operation, maintenance and end-of-life stages of the systems. Priority was given to primary data from industrial partners, including process flow diagrams, P&IDs, bills of materials, technical catalogues and component specifications. Where primary data were unavailable, secondary information and established LCA databases were used.

The resulting inventory models were implemented in openLCA. Background processes were represented using established datasets, including ecoinvent data, while foreground

processes were based as far as possible on project-specific information. The first project phase focused on establishing the inventory. Subsequent Life Cycle Impact Assessment and interpretation will provide the basis for comparing the environmental performance of the GEOSYN technology with relevant alternatives. The role of the LCI within the deployment framework is therefore to provide a transparent and reproducible environmental evidence base rather than relying on generic statements about the sustainability of geothermal systems.

From Evidence to Deployment Support The four evidence streams developed within GEOSYN are interconnected.

The application database answers the question: *Where and how is geothermal H&C already being used?* The stakeholder assessment addresses: *What do potential users and local stakeholders know, expect and perceive as risks or benefits?* The LCI datasets address: *What environmental information is required to assess the technology consistently?* The engagement and communication activities address: *How can this evidence be translated into information that is relevant and understandable to different audiences?*

This structure creates a deployment pathway in which communication is not treated as a separate activity but as the final stage of an evidence-generation process.

The webGIS and mapped case studies provide concrete examples for industrial audiences. Technical and operational information can be transformed into case-study factsheets, presentations, interviews and digital content. Stakeholder research helps identify which issues require clarification and which benefits are locally relevant. Environmental datasets provide a basis for communicating environmental performance using quantified information.

The approach can therefore support different stages of the industrial decision-making process. At an early stage, examples of existing applications can demonstrate technological feasibility. During preliminary assessment, technical and environmental information can support comparison of options. During project development, stakeholder evidence can inform engagement with communities and authorities.

Discussion: Towards a Replicable Deployment Framework. The GEOSYN experience indicates that the deployment of industrial geothermal H&C should be approached as a multi-dimensional process rather than as a purely technical technology-transfer challenge.

The first requirement is visibility of applications. Without accessible information on existing projects, industrial users may perceive geothermal H&C as an emerging or unproven solution even where relevant operating experience already exists.

The second requirement is context-specific stakeholder evidence. Awareness, perceived risks and expected benefits differ according to geography, previous experience, industrial structure and institutional context. Engagement activities should therefore be based on locally relevant evidence rather than on standardised communication alone.

The third requirement is environmental transparency. Reliable LCI datasets allow future environmental assessments to be based on quantified system-specific information. This is particularly relevant for industrial users seeking to evaluate decarbonisation options and environmental performance.

Finally, these evidence streams need to be translated into accessible decision-support information. Technical datasets alone are insufficient if potential users cannot identify their relevance to a specific industrial process or investment decision.

The resulting framework can be replicated in other territories and industrial sectors. Its individual components can also be implemented independently where resources are limited. For example, a regional geothermal development initiative could initially establish an application database and stakeholder assessment, while LCI development could be introduced as project-specific technical data become available. The framework is particularly relevant for regions where geothermal resources exist but industrial deployment remains limited. In such contexts, strengthening the evidence base can help reduce information

asymmetries between technology providers, industrial users, public authorities and communities.

Conclusions. GEOSYN combines technological development with an evidence-based approach to support the future deployment of geothermal heating and cooling in industry. The approach integrates four elements: mapping of existing applications, stakeholder and social-acceptance assessment, Life Cycle Inventory development, and targeted engagement and communication.

The mapping of 94 geothermal H&C applications demonstrates the diversity of existing applications and provides practical evidence for replication. Stakeholder activities involving 244 respondents highlight the importance of context-specific knowledge, transparency and locally relevant benefits. The LCI work establishes a quantitative basis for future environmental assessment. Together, these activities demonstrate that closing the gap between geothermal potential and industrial deployment requires more than technology development. Accessible examples, environmental evidence and stakeholder knowledge can provide complementary information for industrial users and other actors involved in project development.

The GEOSYN framework provides a transferable methodology for organising these evidence streams and translating them into deployment-support activities. Its application in different geographical and industrial contexts can contribute to a more informed assessment of geothermal H&C opportunities and facilitate the replication of solutions beyond the initial demonstration sites.

Acknowledgements. This research was funded by the EU Horizon Europe Programme, GEOSYN Project, under Grant Agreement No. 101172812. Views and opinions expressed are those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Climate, Infrastructure and Environment Executive Agency (CINEA). Neither the European Union nor the granting authority can be held responsible for them.

References

1. Eurostat, *Final energy consumption in industry, detailed statistics*, European Commission, 2026.

2. A. Toleikyte et al., *Clean Energy Technology Observatory: Heat Pumps in the European Union – 2024 Status Report on Technology Development, Trends, Value Chains and Markets*, Publications Office of the European Union, 2024.

3. Eurostat, *Renewable energy statistics*, European Commission, 2026.

4. R. De Boer et al., *Strengthening Industrial Heat Pump Innovation: Decarbonizing Industrial Heat*, 2020.

5. V. Gjorgievski, S. Cundeva, N. Markovska and N. Duić, *IndustryHeat-EU: Harmonized Dataset of Industrial Final and Useful Energy Demand by Temperature Level for EU27 and Member States*, Zenodo, 2025.

6. L. Torsello, D. Bonciani and S. Chiacchella, "The development model of Tuscan geothermal areas: a best practice example to use a resource in a sustainable way," *Proceedings of the European Geothermal Congress*, 2019.

7. N. Thorberg and V. Alfreðsdóttir, *Geothermal Direct Use: Secure Heat, Sustainable Systems, Strong Communities*, Green by Iceland, 2026.

8. IEA, *The Future of Geothermal Energy*, Paris, 2024.

9. European Commission, Geothermal Implementation Working Group, *Implementation Plan*, SET Plan, 2023.

10. V. Gjorgievski et al., *IndustryHeat-EU*, Zenodo, 2025.

11. A. Pellizzone et al., "Geothermal energy and the public: A case study on deliberative citizens' engagement in central Italy," *Energy Policy*, 101, pp. 561–570, 2017.

12. D. Bonciani et al., "Communicating geothermal geoscience results to improve public policies and social acceptance of geothermal energy," *European Geologist*, 56, pp. 18–24, 2023.

13. J. Cousse, E. Trutnevyte and U.J.J. Hahnel, “Tell me how you feel about geothermal energy,” *Energy Policy*, 158, 112547, 2021.

14. O. Ejderyan, F. Ruef and M. Stauffacher, “Geothermal Energy in Switzerland: Highlighting the Role of Context,” in *Geothermal Energy and Society*, Springer, 2019.

15. COMPASS Consortium, *Deliverable 7.3: Best Practices and Geothermal NIMBY Interventions*, Horizon Europe COMPASS Project, 2023.

16. D. Bonciani et al., “Enhancing Geothermal Energy in Industry: Technical Synergies in Heat and Cooling Systems and Stakeholder Engagement in the Horizon Europe GEOSYN Project,” *Proceedings of the European Geothermal Congress*, 2025.

УДК [551.242.5:552.5]:502.171:661.97

СВІТОВІ ТЕНДЕНЦІЇ ЩОДО ЗБЕРІГАННЯ ДІОКСИДУ ВУГЛЕЦЮ В ОСАДОВИХ БАСЕЙНАХ ТА ПОТЕНЦІЙНІ ПЕРСПЕКТИВИ УКРАЇНИ У ВИРІШЕННІ ДАНОЇ ПРОБЛЕМИ

***Стрижак Л.І.*[1]**, *к. геол. н., l.litology@gmail.com,*
***Стрижак В.П.*[2]**, *к. геол. н., v.stryzhak@geo.gov.ua,*
1 – Інститут геологічних наук Національної академії наук України, Київ, Україна,
2 – Державна служба геології та надр України, Київ, Україна

Проаналізований світовий досвід уловлювання та геологічного зберігання вуглецю Carbon Capture and Storage (CCS), яка передбачає вилучення CO_2 із промислових джерел та його довготривалу ізоляцію в надрах Землі. Висвітлені основні світові програми, проєкти і законодавчі ініціативи щодо геологічного захоронення CO_2. Окреслені перспективні регіони для захоронення CO_2 в Україні та проблемні питання, пов'язані з впровадженням технологій CCS в Україні

Ключові слова: Carbon Capture and Storage (CCS)-, захоронення, CO_2 осадові, басейни, геологічні

GLOBAL TRENDS IN CARBON DIOXIDE STORAGE IN SEDIMENTARY BASINS AND POTENTIAL PROSPECTS OF UKRAINE IN SOLVING THIS PROBLEM

***Stryzhak L.*[1]**, *Cand. Sci. (Geol.), l.litology@gmail.com,*
***Stryzhak V.*[2]**, *Cand. Sci. (Geol.), v.stryzhak@geo.gov.ua,*
1 – Institute of Geological Sciences NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine,
2 – State Service of Geology and Mineral Resources of Ukraine, Kyiv, Ukraine

The world experience of carbon capture and geological storage (CCS) is analyzed, which involves the extraction of CO_2 from industrial sources and its long-term isolation in the Earth's interior. The main world programs, projects and legislative initiatives for the geological disposal of CO_2 are highlighted. Promising regions for CO_2 disposal in Ukraine and problematic issues related to the implementation of CCS technologies in Ukraine are outlined

Keywords: Carbon Capture and Storage (CCS), disposal, CO_2 sedimentary, basins, geological

Вступ. Глобальні кліматичні зміни та необхідність скорочення викидів парникових газів зумовлюють пошук ефективних технологій декарбонізації. Одним із перспективних рішень є технологія уловлювання та геологічного зберігання вуглецю Carbon Capture and Storage (CCS), яка передбачає вилучення CO_2 із промислових джерел та його довготривалу ізоляцію в надрах Землі. Україна має значний потенціал для впровадження таких технологій завдяки наявності розвиненої нафтогазової інфраструктури та значної кількості виснажених родовищ вуглеводнів.

Мета дослідження. Аналіз світових проєктів з захоронення CO_2 та оцінка перспектив використання геологічних структур України для довгострокового зберігання CO_2, визначення критеріїв відбору перспективних резервуарів.

Основні результати. Аналіз світового досвіду показав, що найбільш ефективними об'єктами геологічного зберігання CO_2 є виснажені нафтові та газові родовища, глибокі соленосні водоносні горизонти та непромислові вугільні пласти. У світі реалізовано понад 190 проєктів CCS, серед яких найбільш відомими є Sleipner (Норвегія), In Salah (Алжир), K12-B (Нідерланди) та Weyburn (Канада).

Також слід відмітити датський проєкт Greensand який продемонстрував повний цикл захоронення вуглецю у виснажені нафтові родовища в Північному морі. Норвезький Northern Lights вперше у світі забезпечив транскордонне транспортування CO_2 морським шляхом від промислових об'єктів Німеччини та Бельгії до підводних сховищ Норвегії. Британський HyNet North West, де виснажені газові родовища в затоці Ліверпуль використовуються для декарбонізації цілого промислового кластера. У 2024 році проєкт перейшов у фазу активної експлуатації. Канадський Boundary Dam залишається лідером у сфері пост-згоряльного вловлювання, тоді як американський Stratos (Техас) у 2025 році підтвердив комерційну життєздатність прямого вловлювання з атмосфери (DAC).

Австралійський Gorgon CCS, попри технічні виклики, надав унікальні дані щодо поведінки газу в глибоких високомінералізованих водоносних горизонтах , що є критично важливим для гарантування безпеки тривалого зберігання. Porthos (Нідерланди) - передбачає збір CO_2 від підприємств у порту Роттердама та його закачування у виснажені газові родовища Північного моря.

Для кожного типу підземних резервуарів критерії визначення їх потенційної місткості різні. Особливо можуть різнитися резервуари на суші та шельфі, як закриті так і відкриті формації.

Перспективними є резервуари з високою пористістю – в них накопичується великий обсяг вуглекислого газу; аналогічними є умови і для водоносних пластів – CO_2 проникатиме у підземні формації через механізми закачування. Водночас резервуари для його зберігання мають перекриватися непроникними породами, що залягають вище, тобто мати надійну покришку. При глибині залягання резервуару більше 800 м, захоронений CO_2 переходить в певний стан флюїду: ні рідина, ні газ, але виявляє властивості обох, легко стискається і має густину рідини. Зберігання на великих глибинах (4000 м і більше) потребує додаткового вивчення. Ефективність такої утилізації визначається також мінливістю властивостей вуглекислого газу зі зростанням температури й тиску, які характерні для глибоких геологічних структур.

Отже перспективні резервуари для захоронення CO_2 повинні характеризуватися значною пористістю та проникністю, наявністю надійної непроникної покришки, достатньою глибиною залягання (800м-2000м) і мінімальною кількістю тектонічних порушень. Важливими також є екологічна безпечність, соціальна прийнятність та економічна доцільність проєктів. [1]

Так, у світі та Європі вже реалізується низка програм, проєктів і законодавчих ініціатив для уловлювання, транспортування та геологічного захоронення CO_2 (CCS). [2]

Основні законодавчі ініціативи в ЄС

1. Директива ЄС щодо геологічного зберігання CO_2 (CCS Directive)

Європейський Союз ще у 2009 році прийняв спеціальну директиву, яка встановлює вимоги до вибору місць захоронення, моніторингу, безпеки та отримання дозволів на закачування CO_2 у геологічні формації. Перед запуском проектів обов'язково проводиться оцінка впливу на довкілля та аналіз ризиків витоків.

2. Net-Zero Industry Act (NZIA)

У рамках "Зеленої угоди" ЄС ухвалив Net-Zero Industry Act, який передбачає створення до 2030 року потужностей для закачування щонайменше 50 млн тонн CO_2 на рік. Закон також покладає обов'язки на великі нафтогазові компанії сприяти розвитку сховищ CO_2.

3. Стратегія Industrial Carbon Management

У 2024 році Європейська Комісія представила стратегію розвитку ринку транспортування і зберігання CO_2. Планується створення єдиного європейського ринку послуг із транспортування та захоронення вуглецю до 2030 року

У багатьох країнах Європи застосовуються [3]:

- державні гранти для будівництва CCS-об'єктів;
- контракти на різницю цін (Carbon Contracts for Difference);
- підтримка через Європейський інноваційний фонд (Innovation Fund);
- механізми ціноутворення на викиди через систему European Union Emission Trading Scheme (EU ETS).

В Україні виділено три нафтогазоносні регіони: Східний, Західний і Південний [4]. У структурно-тектонічному відношенні вони включають різні елементи і суттєво відрізняються один від одного. Найбільш перспективним регіоном для створення сховищ CO_2 є Дніпровсько-Донецька западина, Східного нафтогазоносного регіону, де зосереджено понад половину родовищ вуглеводнів держави. Тут поширені виснажені газоконденсатні та

нафтові родовища з добре вивченою геологічною будовою і розвиненою системою магістральних газопроводів.

Перспективними також є окремі структури Передкарпатського прогину та Закарпатського басейну, Західного нафтогазоносного регіонку, де наявні виснажені газові родовища та розвинена мережа підземних газосховищ. Особливу увагу привертають Більче-Волицьке, Угерське та Дашавське підземні сховища газу, які демонструють багаторічну надійність утримання газів у геологічному середовищі, в Південному нафтогазоносному регіоні такий потенціал мають структури Чорного та Азовського морів.

Загальна потенційна місткість геологічних резервуарів України оцінюється від 4,9 до 12,3 млрд т CO_2, що дозволяє розглядати країну як перспективний регіон для реалізації проєктів CCS у Східній Європі.

Україна поки не має окремого комплексного закону про геологічне захоронення CO_2, аналогічного директиві ЄС. Водночас:

– діє Стратегія низьковуглецевого розвитку України до 2050 року, яка передбачає збільшення поглинання та скорочення викидів парникових газів [5];

– ухвалено законодавство щодо державної кліматичної політики та підготовки до інтеграції з європейським вуглецевим ринком [6];

– реалізовувалися дослідницькі проєкти, зокрема (Покращення знань та обізнаності про можливості уловлювання та зберігання вуглецю в Центральній та Східній Європі CCS4CEE), які оцінювали потенціал українських геологічних структур для зберігання CO_2 та перспективи впровадження технологій CCS післявоєнної відбудови [7].

– Міністерство економіки та довкілля України19.05.2026 р. Оприлюднення для громадського обговорення проєкту Закону України «Про засади функціонування національної системи торгівлі квотами на викиди парникових газів», який формує правові та організаційні засади функціонування системи, створює основу для поступового наближення до кліматичного законодавства ЄС [8].

Висновки. Геологічне зберігання CO_2 є одним із найбільш реалістичних способів скорочення антропогенних викидів парникових газів.

ЄС уже формує повноцінний ринок захоронення CO_2, а Україні для інтеграції до європейського кліматичного простору, ймовірно, доведеться гармонізувати своє законодавство з вимогами CCS Directive та Net-Zero Industry Act

Україна має значний потенціал для розвитку технологій CCS завдяки наявності сприятливих геологічних структур та нафтогазової інфраструктури але для практичного впровадження потрібні спеціальні нормативні акти, система ліцензування та економічні стимули [9].

Найперспективнішим регіоном для створення сховищ CO_2 є Дніпровсько-Донецький басейн.

Для практичної реалізації проєктів CCS необхідним є проведення детальних геологічних досліджень, розроблення нормативно-правової бази, методики оцінювання місткості сховищ для CO_2 та залучення міжнародного досвіду.

Впровадження технологій CCS може стати важливим елементом післявоєнного відновлення та декарбонізації економіки України.

За умови правильного вибору резервуара, якісного цементування свердловин, систематичного геофізичного моніторингу та контролю тиску, екологічні ризики геологічного зберігання CO_2 вважаються керованими. Саме тому більшість сучасних міжнародних проєктів (Sleipner, Snøhvit, In Salah) демонструють можливість безпечного утримання вуглекислого газу протягом десятиліть

Список використаних джерел:

1. Стрижак В.П., Стрижак Л.І. Проблеми та перспективи зберігання діоксиду вуглецю та інших парникових газів в осадових басейнах України та світу. Збірник наукових праць Інституту геологічних наук НАН України. 2023. Т. 16, вип. 2. С. 99–106. https://doi.org/10.30836/igs.2522-9753.2023.268430

2. The role of Industrial Carbon Management in climate policies. [Електронний ресурс]: Електронні дані *https://climate.ec.europa.eu/areas-action/industrial-carbon-management/legislative-framework_en*

3. CCS in Europe: A Regional Overview, 17 December 2024 [Електронний ресурс]: Електронні дані: *https://www.globalccsinstitute.com/ccs-in-europe-a-regional-overview/*

4. Атлас родовищ нафти і газу України : у 6 т. гол. ред. М. М. Іванюта. Львів : Центр Європи, 1998.

5. Strategy for Low Carbon Development of Ukraine up to 2050 [Електронний ресурс]: Електронні дані *https://leap.unep.org/en/countries/ua/national-legislation/strategy-low-carbon-development-ukraine-2050*

6. Enabling and Ensuring a Net-Zero Aligned Carbon Market for Ukraine. A Practical Guide for Policymakers and Partners [Електронний ресурс]: Електронні дані: *https://netzeroclimate.org/wp-content/uploads/2025/11/NZ-aligned-carbon-market-Ukraine.pdf*

7. The silent climate catastrophe in war-torn Ukraine: CCS deployment potential in the country [Електронний ресурс]: Електронні дані https://civitta.com/xk/news-insights/the-silent-climate-catastrophe-in-war-torn-ukraine-ccs-deployment-potential-in-the-country/

8. Мінекономіки оприлюднило законопроєкт щодо національної системи торгівлі квотами на викиди парникових газів [Електронний ресурс]: Електронні дані *https://www.me.gov.ua/News/Detail/68934a89-158a-4ebc-92bf-8c00a4d28b9e?lang=uk-UA*

9. Стрижак Л., Стрижак В., Алексєєнкова М. Міжнародний досвід та вітчизняні ініціативи захоронення діоксиду вуглецю в геологічному середовищі / Тези доповідей Міжнародна конференція «Тиждень геологічної науки» присвячена 100-річчю Інституту геологічних наук 18-22 травня 2026 року. https://igs-nas.org.ua/podii-ta-novyny/novyny/zaproshennia

УДК 622.698:628.5

АКТУАЛЬНІСТЬ ТА СТРАТЕГІЧНЕ ЗНАЧЕННЯ ПІДЗЕМНОГО ЗБЕРІГАННЯ ДІОКСИДУ ВУГЛЕЦЮ

Дубей Н.В., *к. геол.-мін. н., доцент, dubei0509@gmail.com,*
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
м. Івано-Франківськ, Україна

У роботі обґрунтовано актуальність та стратегічне значення технологій підземного зберігання діоксиду вуглецю (CCS) як ключового інструменту декарбонізації важкої промисловості й енергетики. Розглянуто чотириетапну технологічну ланцюгову систему і геологічний потенціал основних типів підземних резервуарів. Проаналізовано економіко-регуляторні чинники та роль CCS у виробництві «блакитного» водню. Особливу увагу приділено глобальному і національному аспекту для України.

RELEVANCE AND STRATEGIC IMPORTANCE OF UNDERGROUND CARBON DIOXIDE STORAGE

Dubei N., *Cand. Sci. (Geol.-Mineral.), Assoc. Prof., dubei0509@gmail.com,*
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, Ukraine

The paper substantiates the relevance and strategic importance of carbon capture and storage (CCS) technologies as a key tool for decarbonizing heavy industry and the energy sector. It examines the four-stage technological chain and the geological potential of the main types of underground reservoirs. Economic and regulatory factors, as well as the role of CCS in "blue" hydrogen production, are analyzed. Particular attention is paid to both global and national perspectives for Ukraine.

Вступ. На сьогоднішній день перед усім світом стоїть гостре завдання: уповільнити глобальну зміну клімату та зменшити обсяги парникових газів, які щодня викидаються в атмосферу. Навіть за умов активного розвитку сонячної та вітрової енергетики існує чимало великих підприємств – цементні й металургійні заводи, хімічні комбінати – які фізично не можуть повністю зупинити викиди вуглецю під час виробництва.

Саме тому підземне зберігання діоксиду вуглецю (CO_2) перестає бути просто науковим експериментом і перетворюється на стратегічне рішення. Ідея полягає в тому, щоб уловлювати газ безпосередньо на заводах, зріджувати його та безпечно «повертати» глибоко під землю – у порожнини виснажених нафтогазових родовищ або глибокі водоносні шари, де він зберігатиметься тисячі років.

Вивчення та розвиток цієї технології — це не лише внесок у порятунок довкілля, а й необхідна умова для того, щоб вітчизняна промисловість залишалася конкурентоспроможною у світі, де щороку посилюються вимоги до екологічності.

Підземне зберігання CO_2 (Carbon Capture and Storage – CCS) є однією з ключових технологій для досягнення глобальної вуглецевої нейтральності та стримування зміни клімату.

Мета роботи – обґрунтувати актуальність та стратегічне значення технологій підземного зберігання діоксиду вуглецю як ключового інструменту декарбонізації промисловості та національної економіки.

Нижче обґрунтовані основні аспекти ролі і стратегічного значення підземного зберігання CO_2 .

Кліматична та екологічна необхідність. Зміна клімату та глобальне потепління вимагають негайного скорочення викидів парникових газів. Багато галузей промисловості (металургія, цементна та хімічна галузі) поки що не можуть повністю відмовитися від виділення вуглецю через особливості виробничих технологій.

У цих умовах підземне зберігання CO_2 (технологія CCS) стає не просто альтернативою, а критичною екологічною необхідністю.

Виконання Паризької кліматичної угоди (утримання потепління в межах 1,5-2 °C) є неможливим лише за рахунок переходу на відновлювану енергетику. Декарбонізація вимагає безпосереднього вилучення та поховання вже утвореного CO_2.

Декарбонізація важкої промисловості шляхом захоронення CO_2 є чи не єдиним реальним способом нейтралізувати промислові викиди, які важко повністю усунути іншими шляхами[3].

Технології підземного зберігання дозволяють не просто зменшувати поточне забруднення, а й надійно вилучати та консервувати вже наявний CO_2 з атмосфери на тисячі років.

Таким чином, масштабне розгортання підземних сховищ CO_2 є обов'язковою умовою виконання міжнародних зобов'язань та досягнення глобальної вуглецевої нейтральності до 2050 року.

Геологічний потенціал. Підземне зберігання CO_2 базується на використанні глибоких геологічних формацій, здатних надійно ізолювати вуглекислий газ від біосфери на сотні й тисячі років. Основними типами сховищ є виснажені родовища вуглеводнів. Вони володіють детально дослідженою геологічною будовою, готовою інфраструктурою (свердловини, трубопроводи) та доведеною герметичністю покришок. Глибокі солононосні (водоносні) горизонти мають найбільший загальний об'єм місткості у світі та забезпечують основний потенціал для масштабного захоронення. Вугільні пласти, що не розробляються дозволяють поєднувати зберігання CO_2 із попутним вилученням метану.

Закачування діоксиду вуглецю в нафтові пласти дозволяє підвищити коефіцієнт вилучення залишкової нафти, поєднуючи економічну вигоду з одночасним уловлюванням і фіксацією вуглецю під землею[1].

Технологічні можливості. Реалізація підземного зберігання діоксиду вуглецю (технології CCS/CCUS) є складним інженерно-геологічним комплексом, що охоплює чотири послідовні технологічні етапи.

1. Вловлювання (Capture). Вловлення CO_2 безпосередньо з димових газів великих промислових джерел (металургійних, цементних заводів, ТЕС) за допомогою хімічного абсорбування, мембранного розділення або кріогенних методів.

2. Транспортування (Transport). Стиснення діоксиду вуглецю до рідкого або надкритичного стану та його транспортування до місця зберігання за допомогою трубопровідного транспорту, спеціальних авто- чи залізничних цистерн і танкерів.

3. Закачування (Injection). Інжектування CO_2 під високим тиском через глибокі свердловини у підземні геологічні резервуари (виснажені родовища вуглеводнів, глибокі солоні водоносні горизонти або вугільні пласти).

4. Моніторинг та довгострокова ізоляція (Monitoring & Storage). Постійний контроль за поведінкою, тиском та герметичністю розподілу CO_2 у пласті за допомогою геофізичних методів для запобігання витокам протягом сотень років.

Наявний рівень технологічного розвитку вже сьогодні дозволяє безпечно масштабувати ці чотири етапи для промислового застосування та швидкої декарбонізації[2].

Економічна доцільність та регуляторні чинники. Збільшення цін на системи торгівлі викидами (зокрема, EU ETS) робить штрафи за викиди дорожчими, ніж технології зберігання.

Введення Євросоюзом механізму транскордонного вуглецевого коригування змушує експортерів знижувати вуглецевий слід продукції для збереження конкурентоспроможності.

Запровадження ЄС механізму CBAM змушує експортерів по всьому світу знижувати вуглецевий слід своєї продукції, щоб зберегти конкурентоспроможність на глобальному ринку.

Залучення субсидій, податкових пільг (наприклад, Section 45Q у США) та грантів на розвиток зелених технологій заохочує до використання технологій підземного зберігання CO_2.

Енергетичний аспект. Підземне зберігання CO_2 дозволяє використовувати викопне паливо (наприклад, природний газ для виробництва «блакитного» водню) із мінімальним впливом на довкілля під час розбудови відновлюваної енергетики.

Технологія CCS – Carbon Capture and Storage є головним елементом, який перетворює «сірий» водень на «блакитний».

Ось як влаштований цей зв'язок:

1. Блакитний водень отримують із природного газу (метану) шляхом парової конверсії. Під час цього хімічного процесу метан реагує з парою, утворюючи водень (H_2) та побічний продукт – вуглекислий газ CO_2.

2. Вловлювання газу. Замість того, щоб викидати CO_2 в атмосферу (що робиться при виробництві традиційного «сірого» водню), його уловлюють безпосередньо на промисловій установці.

3. Підземне захоронення. Уловлений CO_2 стискають до рідкого стану, транспортують трубопроводами та закачують у глибокі підземні геологічні пласти (виснажені газові й нафтові родовища або глибокі водоносні горизонти) на глибину понад 800 метрів для тривалого зберігання.

Завдяки підземному зберіганню вуглецю виробництво блакитного водню дозволяє зменшити викиди CO_2 на 80–95% порівняно з традиційним «сірим» воднем, роблячи його низьковуглецевим паливом для перехідної енергетики.

Геополітичний та національний аспект для України. Імплементація вимог European Green Deal та повоєнна відбудова України за екологічними стандартами ЄС вимагають швидкого впровадження технологій CCS у промисловості. Практична реалізація цього напряму спирається на високий геологічний потенціал держави: наявність значної кількості виснажених газових і нафтових родовищ (зокрема у Дніпровсько-Донецькій западині та Карпатському регіоні) створює необхідні умови для безпечного зберігання CO_2 та повноцінної інтеграції України в європейські кліматичні ініціативи.

Список використаних джерел:

1. Захаров Є.О., Михайлов В.А. Геологічні передумови створення підземних сховищ діоксиду вуглецю у виснажених родовищах вуглеводнів України. *Геологічний журнал*. 2022. № 3 (380). С. 45–56.

2. Світлий О.В., Кузнєцов О.В. Технології уловлювання та підземного зберігання вуглецю (CCS) як чинник декарбонізації промисловості України. *Екологічні науки*. 2023. Вип. 4 (49). С. 112–118.

3. International Energy Agency (IEA). Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector. Paris : IEA, 2021. 224 p. URL: https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050 (date of access: 15.02.2026).

УДК 349.6:662.997(477)

ВДОСКОНАЛЕННЯ НОРМАТИВНО-ПРАВОВОЇ БАЗИ – ШЛЯХ ДО СТИМУЛЮВАННЯ ВПРОВАДЖЕННЯ ГЕОТЕРМАЛЬНИХ ПРОЄКТІВ НАФТОГАЗОВИМИ КОМПАНІЯМИ

Віршило І.В., *ivan.virshylo@ugv.com.ua,*
Скрипник В.В., *viktoriia.skrypnyk@ugv.com.ua,*
Єлізов Г.О., *yelizov.gleb@ugv.com.ua,*
Поліщук О.С., *olha.polischuk@ugv.com.ua,*
АТ «Укргазвидобування», «УкрНДІгаз»

У тезах обгрунтовано концепцію ревіталізації виснаженого та неуспішного фонду свердловин нафтогазових компаній України для розвитку геотермальної енергетики. Проаналізовано ключові регуляторні, фінансові та термінологічні бар'єри, що стримують інвестиції у сектор петротермальної та гідрогеотермальної енергії. На основі міжнародного досвіду (Німеччини, Франції, Польщі) та результатів досліджень Солотвинської западини (проєкт «Екофілд Солотвино») запропоновано системні зміни до Кодексу України про надра та Податкового кодексу. Сформульовано пропозиції щодо переходу від ліцензування «метрів глибини» до оцінки «енергетичної потужності» (МВт), впровадження нульової ставки ренти за реінжекцію теплоносія та спрощеного доступу до геотермальних ресурсів для чинних надрокористувачів.

Ключові слова: геотермальна енергетика, петротермальні ресурси, ревіталізація свердловин, спеціальний дозвіл, реінжекція, Кодекс про надра, декарбонізація.

IMPROVING THE REGULATORY AND LEGAL FRAMEWORK AS A WAY TO STIMULATE THE IMPLEMENTATION OF GEOTHERMAL PROJECTS BY OIL AND GAS COMPANIES

Virshylo V., *ivan.virshylo@ugv.com.ua,*
Skrypnyk V., *viktoriia.skrypnyk@ugv.com.ua,*
Yelizov H., *yelizov.gleb@ugv.com.ua,*
Polishchuk O., *olha.polischuk@ugv.com.ua,*
JSC Ukrgasvydobuvannyia, "UkrNDIgaz"

This paper substantiates the concept of revitalizing the depleted and unsuccessful well stock of Ukrainian oil and gas companies to advance geothermal energy development. It analyzes the key regulatory, financial, and terminological barriers that inhibit investment in both petrothermal (EGS) and hydrogeothermal sectors. Drawing on international best practices (Germany, France, and Poland) and the findings of recent studies within the Solotvyno Depression (the "Ecofield Solotvyno" project), the authors propose systematic amendments to the Subsoil Code of Ukraine and the Tax Code. Specific recommendations are formulated regarding the transition from licensing based on "well depth in meters" to assessments based on "energy capacity" (MW), the implementation of a zero-rate royalty for closed-loop systems with complete thermal fluid reinjection, and the introduction of simplified access to geothermal resources for existing subsoil users.

Keywords: geothermal energy, petrothermal resources, well revitalization, special permit, reinjection, Subsoil Code, decarbonization.

Вступ та постановка проблеми. На балансі нафтогазовидобувних компаній України перебувають тисячі свердловин, які є виснаженими, обводненими або неуспішними з точки зору видобутку вуглеводнів. Для надрокористувачів утримання такої інфраструктури пов'язане виключно з непродуктивними фінансовими витратами на консервацію та ліквідацію, тоді як для держави вона представляє втрачений енергетичний потенціал. Водночас значний потенціал геотермальної енергії України, що за тепловим еквівалентом перевищує запаси традиційних вуглеводнів, визначає стратегічну доцільність розвитку цієї галузі.

В умовах воєнного стану та повоєнної відбудови сектор альтернативної енергетики є критично важливим для децентралізації енергосистеми та забезпечення енергетичної незалежності громад. Перспективним інструментом вирішення цієї проблеми є концепція

ревіталізації ліквідаційного фонду свердловин нафтогазових компаній через їх перепрофілювання в активи зеленої енергетики. Метою цієї роботи є аналіз чинних регуляторних та економічних бар'єрів, що стримують розвиток галузі, та розробка практичних рекомендацій щодо вдосконалення нормативно-правової бази для стимулювання впровадження геотермальних проєктів.

Аналіз регуляторних та фінансових бар'єрів. Сучасний стан правового регулювання у сфері геотермальної енергетики України характеризується термінологічною та процедурною невизначеністю, що стримує залучення інвестицій у сектор. Хоча стаття 14 Кодексу України про надра формально відносить отримання геотермальної енергії до видів користування надрами, в національному законодавстві наразі відсутній адаптований механізм її відокремленого ліцензування та комерційного обліку без обов'язкового вилучення водного теплоносія.

Унаслідок цього виникає правовий вакуум при спробах реалізації екологічно безпечних петротермальних проєктів (сухого тепла порід у замкненому циклі). За відсутності спеціалізованих нормативно-правових актів така діяльність вимушено класифікується за залишковим принципом — як будівництво та експлуатація підземних споруд, не пов'язаних з видобуванням корисних копалин.

Зазначений підхід зумовлює критичну фінансову диспропорцію на етапі входу в проєкт (CAPEX). Проведені порівняльні розрахунки для умовної свердловини глибиною 4000 м демонструють суттєвий інвестиційний розрив:

– отримання спеціального дозволу на геологічне вивчення та видобуток теплоенергетичних підземних вод (із дебітом понад 300 м³/добу) становить близько 700 тис. грн;

– отримання спецдозволу на вилучення теплової енергії надр за чинною формулою для підземних споруд на тій самій глибині сягає близько 17 млн грн.

Таким чином, стартова вартість ліцензії для чистих петротермальних технологій є майже у 24 рази вищою порівняно з гідротермальними проєктами. Таке надмірне фінансове навантаження на початковій стадії бізнес-планування повністю нівелює інвестиційну привабливість ревіталізації виснажених свердловин. Це підтверджується повною відсутністю в Україні виданих спеціальних дозволів на петротермальну енергію надр. Чинна дозвільна система створює технологічний парадокс, за якого регуляторне поле робить видобуток флюїдів із подальшим скидом мінералізованих вод економічно вигіднішим, ніж екологічно безпечне вилучення сухого тепла надр у замкненому циклі.

Міжнародний досвід. Для подолання регуляторних та процедурних невизначеностей доцільно імплементувати успішно апробовану практику європейських країн, де геотермальні ресурси чітко класифіковані на законодавчому рівні:

– Німеччина: гірниче законодавство чітко відокремлює теплову енергію від матеріального носія (водного флюїду) і визначає її як «незалежну/вільну від права власності на земельну ділянку корисну копалину» (*bergfreie Bodenschätze*). Ліцензуванню підлягає не глибина чи площа, а комерційна енергетична потужність об'єкта.

– Франція: нормативний підхід базується на температурному режимі резервуару. Тепло глибоких горизонтів розглядається як самостійний комерційний продукт, що забезпечує спрощений доступ інвесторів до глибоких пластів без необхідності отримання класичних ліцензій на видобуток корисних копалин.

– Польща: завдяки ефективному нормативному стимулюванню замкнених циклів із 100% реінжекцією теплоносія (що звільняє інвестора від тривалого захисту класичних запасів води та процедур ОВД), встановлена потужність геотермальних систем зросла з 74 МВт у 2020 році до 129 МВт у 2024 році.

Загальноєвропейський вектор, закріплений Директивою ЄС 2018/2001, вимагає чіткого визначення геотермальної енергії як тепла, що зберігається під твердою поверхнею землі, незалежно від стану та наявності водного носія.

Результати досліджень та комплексні пропозиції. На основі комплексних термогеологічних досліджень Солотвинської западини Закарпатського прогину (проєкт «Екофілд Солотвино» за грантовою програмою *«Innovate Ukraine»*) підтверджено наявність аномально високого теплового потоку (90–120 мВт/м²). У межах НДР науковим консорціумом (АТ «Укргазвидобування», Університет Аберистуіт, КНУ ім. Тараса Шевченка, INIG та Rockfield) вперше успішно адаптовано європейські алгоритми об'ємного методу розрахунку тепла надр до геологічних умов українських родовищ.

З метою практичного впровадження цих результатів та запуску ринку петротермальної енергетики розроблено дорожню карту реформування законодавства, яка включає чотири наріжні камені:

1. Зміни до Кодексу України про надра (ст. 14, 16, 28): Необхідно термінологічно розділити «речовину» (водний флюїд) та «енергію» (тепло), ввівши новий самостійний вид користування надрами — *«геологічне вивчення та видобування петротермальної енергії надр (тепла сухих порід)»*. Чинним надрокористувачем (нафтогазовим компаніям) слід надати право отримувати такі спецдозволи в межах діючих ліцензій без аукціону за принципом використання супутнього корисного ресурсу.
2. Реформа Методики КМУ №1374: Запропоновано змінити базу ціноутворення для петротермальних проєктів, ліквідувавши неефективне множення «метрів глибини» на коефіцієнти. Натомість вартість спецдозволу має розраховуватися на основі прогнозованої теплової потужності об'єкта в мегаватах (МВт), що забезпечить справедливу вартість ліцензій та знизить фінансовий бар'єр для інвесторів у 20–30 разів.
3. Зміни до Податкового кодексу України (ст. 252, 253): Впровадити коефіцієнт 0,0 для рентної плати за підземну воду у разі її використання виключно як теплоносія у замкненому циклі зі 100% реінжекцією. Оскільки вилучення ресурсу з балансу надр не відбувається, оподатковуватися має лише товарна теплова енергія.

Порівняльний аналіз доводить, що петротермальний підхід у замкненому циклі (системи *EGS*) усуває необхідність тривалого захисту класичних запасів води у ДКЗ та спрощує процедуру ОВД завдяки відсутності ризику виснаження флюїду чи скиду мінералізованих вод. Це дозволяє скоротити загальний термін доінвестиційної фази та запуску об'єкта вдвічі — до 6–8 місяців порівняно з 12–14 місяцями для традиційної гідротермії.

Висновки. Ревіталізація наявної нафтогазової інфраструктури є найбільш раціональним та економічно обґрунтованим шляхом розвитку геотермальної енергетики в Україні. Вона дозволяє інвесторам суттєво знизити капітальні витрати (CAPEX) за рахунок виключення стадії буріння, а державі — ліквідувати екологічні ризики бездіяльних свердловин. Порівняльний аналіз доводить технологічні та дозвільні переваги петротермальних систем замкненого циклу (EGS), які мінімізують вплив на довкілля та суттєво прискорюють запуск об'єктів в експлуатацію.

Запропоновані законодавчі зміни — зокрема впровадження принципу супутнього користування надрами, перехід до ліцензування «мегават замість метрів» та встановлення нульової ставки ренти за реінжекцію теплоносія — здатні забезпечити синергетичний ефект та баланс інтересів для держави та приватного капіталу. Реалізація розробленої дорожньої карти реформи усуне критичні бар'єри доступу до ресурсу, оптимізує дозвільні процедури та дозволить перетворити виснажені родовища на сучасні зелені енергетичні хаби, зміцнюючи енергонезалежність держави та її громад.

Список використаних джерел:

1. Закон України «Про альтернативні джерела енергії» від 20.02.2003 № 555-IV.
2. Кодекс України про надра від 27.07.1994 № 132/94-ВР зі змінами.
3. Директива Європейського Парламенту і Ради (ЄС) 2018/2001 про стимулювання використання енергії з відновлюваних джерел.
4. Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Методики визначення початкової ціни продажу на аукціоні спеціального дозволу на право користування надрами» від 15.10.2004 № 1374 зі змінами.
5. Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження переліків корисних копалин загальнодержавного та місцевого значення» від 12.12.1994 № 827 зі змінами.
6. F. Derewenda. CEENERGY. Poland's appetite for geothermal energy: rethinking diversification of supply. URL: ceenergynews.com.
7. Majcin D., Kutas R. et al., Thermal conditions for geothermal energy exploitation in the Transcarpathian depression, 2016.

УДК 621.311

ТРАНСФОРМАЦІЯ ДЕРЖАВНОЇ ПОЛІТИКИ В ЕНЕРГЕТИЧНІЙ СФЕРІ УКРАЇНИ В УМОВАХ ЗЕЛЕНОГО ПЕРЕХОДУ ТА ОСОБЛИВОГО ПЕРІОДУ

Середа І.П., *аспірант, xmasterivv@gmail.com, https://orcid.org/0009-0005-4589-8680,*
Науково-дослідний інститут публічного права, Київ, Україна

Досліджено особливості трансформації державної політики в енергетичній сфері України в умовах зеленого переходу та особливого періоду. Акцентовано увагу на зміні пріоритетів державного регулювання енергетичної сфери під впливом безпекових, екологічних, економічних та євроінтеграційних чинників. Охарактеризовано значення декарбонізації, розвитку відновлюваної та розподіленої енергетики, підвищення енергоефективності й енергетичної стійкості. Обґрунтовано необхідність поєднання завдань зеленого переходу із забезпеченням енергетичної безпеки держави та удосконаленням адміністративно-правових механізмів реалізації державної політики у відповідній сфері. Зроблено висновок про формування комплексної моделі енергетично-кліматичного врядування, орієнтованої на стійкість, модернізацію та інтеграцію енергетичної сфери України до європейського енергетичного простору.

Ключові слова: державна політика, енергетична сфера зелений перехід, енергетична безпека, енергетична стійкість, адміністративно-правове регулювання, особливий період.

TRANSFORMATION OF UKRAINE'S ENERGY POLICY IN THE CONTEXT OF THE GREEN TRANSITION AND DURING THE WAR AND POST-WAR PERIODS

Sereda I., *postgraduate student, xmasterivv@gmail.com, https://orcid.org/0009-0005-4589-8680,*
The Scientific Institute of Public Law, Kyiv, Ukraine

This study examines the characteristics of the transformation of state policy in Ukraine's energy sector in the context of the green transition and the current exceptional circumstances. It focuses on the shift in priorities of state regulation of the energy sector under the influence of security, environmental, economic, and European integration factors. The importance of decarbonization, the development of renewable and distributed energy, and the improvement of energy efficiency and energy resilience is described. The necessity of combining the objectives of the green transition with ensuring the country's energy security and improving the administrative and legal mechanisms for implementing state policy in this sector is substantiated. The conclusion is drawn regarding the formation of a comprehensive model of energy and climate governance focused on sustainability, modernization, and the integration of Ukraine's energy sector into the European energy space.

Keywords: public policy, energy sector, green transition, energy security, energy sustainability, administrative and legal regulation, special period.

Вступ. Сучасний етап розвитку енергетичної сфери України характеризуються істотною трансформацією змісту, цілей та інструментів державної політики, які обумовлені одночасним впливом декількох взаємопов'язаних чинників. Функціонування енергетичної системи України відбувається в умовах особливого періоду, що об'єктивно зумовлює необхідність переосмислення усталених підходів до формування та реалізації державної політики.

Україна послідовно реалізує курс на декарбонізацію, підвищення енергоефективності, розвиток відновлюваних джерел енергії та інтеграцію до європейського енергетичного простору. Разом з тим, реалізація зазначених стратегічних орієнтирів відбувається у надзвичайно складних умовах, зумовлених воєнними загрозами, масштабним пошкодженням об'єктів енергетичної інфраструктури, необхідністю забезпечення безперервності енергопостачання та посилення енергетичної безпеки держави.

За таких обставин трансформація державної політики в енергетичній сфері набуває особливого змісту, оскільки має поєднувати довгострокові цілі зеленого переходу з першочерговими завданнями функціонування енергетичної системи в умовах особливого періоду. У зв'язку з цим важливого значення набуває з'ясування змісту поняття «особливий період» та визначення його впливу на формування і реалізацію державної політики в енергетичній сфері.

Виклад основного матеріалу. Поняття «особливий період» має нормативно визначений зміст. Відповідно до Закону України «Про оборону України» він охоплює час мобілізації, воєнний час і частково відбудовний період після закінчення воєнних дій [1]. Аналогічний за своєю сутністю підхід закріплено у Законі України «Про мобілізаційну підготовку та мобілізацію» [2]. Зазначене має принципове значення для дослідження енергетичної сфери, оскільки дозволяє розглядати її трансформацію крізь призму поточних потреб воєнного часу та з урахуванням майбутнього відновлення та модернізації енергетичної інфраструктури. За таких умов зелений перехід набуває нових змістових характеристик.

Сутність зеленого переходу полягає у поступовій системній трансформації енергетичної моделі держави, спрямованій на скорочення викидів парникових газів, підвищення енергоефективності, розвитку відновлюваних джерел енергії та поступовій відмові від вуглецевоємних видів палива. У сучасних умовах зелений перехід слід розглядати як комплексний процес структурної, технологічної, економічної та адміністративно-правової перебудови енергетичної сфери.

Стратегічним підґрунтям зеленого переходу стала Енергетична стратегія України на період до 2050 року, схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 21 квітня 2023 року № 373-р [3]. Вона закріпила довгостроковий вектор розвитку енергетичної сфери та стала основою для формування подальших програмних і нормативно-правових рішень держави. Нормативне закріплення «зеленої» трансформації отримало з прийняттям Закону України від 30 червня 2023 року № 3220-IX «Про внесення змін до деяких законів України щодо відновлення та "зеленої" трансформації енергетичної системи України» [4].

Питання трансформації державного регулювання в енергетичній сфері України під впливом воєнних та євроінтеграційних чинників стало предметом наукового дослідження Т. Затонацької та О. Соболєва [5]. Дослідниками обґрунтовано необхідність адаптації наявних механізмів державного регулювання до нових умов функціонування енергетичного сектору, удосконалення регуляторного середовища, розширення економічних інструментів підтримки, стимулювання інвестицій у технологічні інновації та збільшення частки відновлюваних джерел енергії. Науковці наполягають на необхідності узгодження національної енергетичної стратегії з європейськими підходами та забезпеченні енергетичної безпеки України в умовах російсько-української війни.

На нашу думку, зелений перехід та забезпечення енергетичної безпеки не повинні розглядатися як два відокремлені або конкуруючі напрями державної політики. Навпаки, в умовах особливого періоду вони набувають взаємообумовленого характеру. Розвиток відновлюваних джерел енергії, розподіленої генерації, локальних енергетичних систем та засобів накопичення енергії одночасно сприяє досягненню кліматичних цілей і зменшенню вразливості енергетичної системи від надмірної концентрації генеруючих потужностей.

Вагомою складовою трансформації виступає розвиток відновлюваної енергетики. Національним планом дій з відновлюваної енергетики на період до 2030 року передбачено, зокрема, досягнення частки енергії з відновлюваних джерел у валовому кінцевому споживанні енергії на рівні щонайменше 27 відсотків у 2030 році [6]. За таких умов відновлювана енергетика стає одним із системоутворюючих елементів державної енергетичної політики.

Наведене, на нашу думку, засвідчує поступовий перехід державної політики від галузевого підходу до комплексної моделі енергетично-кліматичного врядування, за якої розвиток енергетики, забезпечення енергетичної безпеки, скорочення викидів парникових газів, енергоефективність та виконання євроінтеграційних зобов’язань повинні розглядатися як взаємопов’язані елементи єдиної державної політики.

Разом із тим особливий період обумовлює певну специфіку застосування загальновизнаних інструментів зеленого переходу. Йдеться про необхідність забезпечення балансу між довгостроковими цілями декарбонізації та невідкладними потребами

енергетичної безпеки. З огляду на це рішення у сфері енергетики мають оцінюватися не лише з позиції їх економічної доцільності та екологічного ефекту, а й з урахуванням критеріїв стійкості, безперервності енергопостачання, можливості оперативного відновлення пошкоджених об'єктів та здатності енергетичної системи функціонувати в умовах підвищених ризиків. Зазначені процеси призводять до зміни в реалізації державної політики. Так, дедалі більшого значення набувають засоби державного регулювання, такі як: стратегічне та індикативне планування, цифровий моніторинг, державне стимулювання, конкурентні механізми підтримки відновлюваної енергетики, гарантії походження електричної енергії, енергетичне планування на центральному та місцевому рівнях, адміністративні процедури у сфері приєднання об'єктів генерації, механізми державно-приватної взаємодії та міжвідомчої координації. Це свідчить про те, що трансформація відбувається не лише на рівні цілей державної політики, а й на рівні механізму її адміністративно-правової реалізації.

Вважаємо, що трансформацію державної політики в енергетичній сфері України в умовах зеленого переходу та особливого періоду доцільно визначати як обумовлений безпековими, екологічними, економічними та євроінтеграційними чинниками процес системного оновлення цілей, принципів, напрямів, форм і адміністративно-правових засобів діяльності держави у сфері енергетики, спрямований на забезпечення енергетичної безпеки і стійкості, декарбонізацію, розвиток відновлюваної та розподіленої енергетики, підвищення енергоефективності й поступову інтеграцію енергетичного сектору України до енергетичного простору Європейського Союзу.

Висновки. Отже, зелений перехід в умовах особливого періоду обумовлює якісну зміну концептуальних засад формування та реалізації державної політики в енергетичній сфері України. Її сучасний зміст не може обмежуватися виключно забезпеченням належного виробництва, передачі, розподілу та постачання енергетичних ресурсів. До системи пріоритетів закономірно включаються енергетична безпека і стійкість, декарбонізація, енергоефективність, розвиток відновлюваної та розподіленої генерації, технологічна модернізація, відновлення пошкодженої інфраструктури та європейська інтеграція. В умовах особливого періоду зелений перехід має розглядатися одночасно як стратегічний напрям декарбонізації енергетичної сфери та як один із засобів формування більш стійкої, децентралізованої й адаптивної енергетичної системи. На нашу думку, така модель здатна забезпечити послідовність державної енергетичної політики на етапах функціонування в умовах воєнних загроз, подальшого відновлення та довгострокової модернізації енергетичної сфери України.

Список використаних джерел:

1. Про оборону України: Закон України від 06.12.1991 № 1932-XII. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1932-12#Text
2. Про мобілізаційну підготовку та мобілізацію : Закон України від 21.10.1993 № 3543-XII. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3543-12#Text
3. Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2050 року: розпорядження Кабінету Міністрів України від 21.04.2023 № 373-р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/373-2023-%D1%80#Text
4. Про внесення змін до деяких законів України щодо відновлення та «зеленої» трансформації енергетичної системи України : Закон України від 30.06.2023 № 3220-IX. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3220-20#Text
5. Соболєв О., Затонацька Т. Трансформація державного регулювання у сфері енергетичної галузі під впливом російсько-української війни. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Економіка. 2024. № 2 (225). С. 15–26. DOI: 10.17721/1728-2667.2024/225-2/2.
6. Про затвердження Національного плану дій з відновлюваної енергетики на період до 2030 року та плану заходів з його виконання : розпорядження Кабінету

Міністрів України від 13.08.2024 № 761-р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/761-2024-%D1%80#Text

7. Про схвалення Стратегії розвитку розподіленої генерації на період до 2035 року і затвердження операційного плану заходів з її реалізації у 2024–2026 роках : розпорядження Кабінету Міністрів України від 18.07.2024 № 713-р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/713-2024-%D1%80#Text

УДК 911.3:620.91:004.9

ПЕРЕДПРОЄКТНИЙ ГІС-СКРИНІНГ ТЕРИТОРІЙ ДЛЯ РОЗМІЩЕННЯ ОБ'ЄКТІВ ВІТРОВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ: ЕКОЛОГІЧНІ, ПРОСТОРОВІ ТА ЗЕМЕЛЬНІ ОБМЕЖЕННЯ

Лопушанська М.Р.*[1,4]*, *доктор філософії, mariialopushanska@gmail.com;*
Багінська Л.В.*[2,3,4]*, *lesia.baginska@everlegal.ua;*
Циганок Л.В. [4]*, liudmyla.paeu@gmail.com,*
1 – Товариство з обмеженою відповідальністю «ЗАХІДНАДРАСЕРВІС», Львів, Україна,
2 – Адвокатське об'єднання «ЕВЕРЛІҐАЛ», Київ, Україна,
3 – Національний університет «Києво-Могилянська академія», Київ, Україна,
4 – Асоціація професіоналів довкілля «PAEW», Київ, Україна

Розвиток вітрової енергетики є важливою складовою зеленого переходу України, однак вибір територій для розміщення вітроенергетичних об'єктів потребує комплексного врахування екологічних, просторових та земельних обмежень. Метою дослідження є визначення та просторовий аналіз екологічних, просторових і земельних обмежень на передпроєктному етапі планування вітроенергетичних проєктів на прикладі Поліської, Іванківської та Бородянської територіальних громад Київської області. Дослідження виконано із застосуванням геоінформаційного аналізу в середовищі QGIS 3.40.3. Для оцінки вітрового потенціалу використано дані Global Wind Atlas щодо середньорічної швидкості вітру на висоті 100 м. ГІС-скринінг передбачав картографування та послідовний аналіз екологічних, просторових і земельних обмежень, зокрема меж населених пунктів і рекомендованої санітарно-захисної зони, територій природно-заповідного фонду, Смарагдової мережі, водних об'єктів і прибережно захисної смуги водних об'єктів. У результаті визначено території, що потребують виключення або подальшого детального аналізу. Удосконалено підхід до передпроєктного ГІС-скринінгу шляхом інтеграції та розмежування екологічних, просторових і земельних обмежень із даними про вітровий потенціал. Отримані результати формують інформаційну основу для подальших детальних досліджень і прийняття обґрунтованих проєктних рішень та не є остаточним висновком щодо придатності конкретної ділянки.

Ключові слова: вітрова енергетика, ГІС-інструменти, екологічні обмеження, просторові обмеження, земельні обмеження, картографування

ALGORITHM FOR IDENTIFYING ENVIRONMENTAL RESTRICTIONS FOR WIND ENERGY PROJECTS USING GIS TOOLS

Lopushanska M. [1,4]***,*** *PhD, mariialopushanska@gmail.com;*
Baginska L.[2,3,4]***,*** *lesia.baginska@everlegal.ua;*
Tsyganok L. [4]*, liudmyla.paeu@gmail.com,*
1 – ZAKHIDNADRASERVIS LLC, Lviv, Ukraine,
2 – EVERLEGAL Attorneys at Law, Kyiv, Ukraine,
3 – National University of Kyiv-Mohyla Academy, Kyiv, Ukraine,
4– Professional Association of Environmentalists of the World (PAEW), Kyiv, Ukraine

The development of wind energy is an important component of Ukraine's green transition; however, the selection of areas for wind energy development requires comprehensive consideration of environmental, spatial, and land-use restrictions. This study aims to identify and spatially analyse environmental, spatial, and land-use restrictions at the pre-project planning stage of wind energy development, using the Poliska, Ivankivska, and Borodianska territorial communities of Kyiv Region as case studies. The study was conducted using geospatial analysis in QGIS 3.40.3. Wind potential was assessed using Global Wind Atlas data on mean annual wind speed at a height of 100 m. The GIS-based screening involved mapping and systematic analysis of environmental, spatial, and land-use restrictions, including settlement boundaries and recommended buffer zones, protected areas, Emerald Network sites, water bodies, and riparian protection zones. The analysis identified areas that should either be excluded from further consideration or subjected to more detailed assessment. The pre-project GIS screening approach was refined by integrating wind potential data with a differentiated assessment of environmental, spatial, and land-use restrictions. The results provide an information basis for subsequent environmental, spatial, land-related legal, and project-specific studies and should not be interpreted as a final determination of the suitability of any particular site..

Keywords: wind energy, GIS tools, environmental restrictions, spatial restrictions, land-use restrictions, mapping.

Вступ. Вітрова енергетика відіграє одну з ключових ролей у зеленому переході України та досягненню амбітних цілей кліматичної нейтральності. Проте, з кожним днем дедалі більше обговорень, де краще розміщувати вітроенергетичні проекти, щоб завдавати мінімум школи для довкілля та зберегти баланс між економічною вигодою та енергетичною стійкістю. Найкращим визначенням потенційних територій є передпроектний скринінг ділянок, зокрема з використанням ГІС-інструментів. Водночас визначення потенційно придатних територій для розміщення об'єктів вітрової енергетики потребує врахування не лише природних характеристик території та вітрового потенціалу, а й установлених законодавством режимів використання територій і земель. У межах передпроєктного скринінгу доцільно розмежовувати екологічні, просторові та земельні обмеження, сукупність яких може впливати на можливість подальшої реалізації вітроенергетичного проєкту.

Мета. Метою дослідження є апробація підходу до передпроєктного ГІС-скринінгу територій для розміщення об'єктів вітрової енергетики шляхом визначення та просторового відображення екологічних, просторових і земельних обмежень на прикладі Поліської, Іванківської територіальних громад Вишгородського району та Бородянської територіальних громад Бучанського району Київської області.

Методи. Для вибору потенційних ділянок для будівництва вітрових електростанцій застосовано геоінформаційний аналіз у середовищі QGIS 3.40.3. Для моделювання середньорічної швидкості вітру на висоті 100 м використано дані Global Wind Atlas (2026) [12]. Просторовий аналіз охоплював шари забудованих територій гідрографічної мережі на основі OpenStreetMap [16], територій природно-заповідного фонду [6] та Смарагдової мережі [11]. Для уточнення особливостей території додатково використано космічні зображення Google Maps [13]. У дослідженні запропоновано систематизувати обмеження за трьома групами: екологічні, просторові та земельні. Екологічні обмеження пов'язані з установленими режимами охорони природних територій, об'єктів і природних ресурсів. Просторові обмеження охоплюють містобудівні, планувальні та інфраструктурні чинники, що впливають на можливість розміщення об'єкта на відповідній території. Земельні обмеження пов'язані з правовим режимом земель і земельних ділянок, їх категорією та цільовим призначенням, а також установленими обмеженнями у використанні земель та обтяженнями прав на земельні ділянки.

Результати. На законодавчому рівні не існує загальноприйнятого алгоритму визначення потенційних ділянок для будівництва вітрових електростанцій. Водночас відсутність єдиного нормативно визначеного алгоритму не означає відсутності законодавчо встановлених вимог та обмежень щодо використання відповідних територій і земель. Такі обмеження встановлюються екологічним, містобудівним, земельним та іншим законодавством і мають враховуватися під час передпроєктного вибору територій. Детальніше розглянемо на прикладі Поліської, Іванівської та Бородянської територіальних громад Київської області.

Перший етап (оцінка вітрового потенціалу території)

Оцінка вітрового потенціалу є першим фільтром передпроєктного скринінгу. Наявність сприятливих вітрових характеристик сама по собі не свідчить про допустимість розміщення ВЕС без подальшого врахування екологічних, просторових та земельних обмежень. Для даного аналізу використовуються дані Global Wind Atlas. [12]

За даними ГІС-моделювання в межах території дослідження найсприятливіші умови для розвитку вітрової енергетики за показником середньорічної швидкості вітру на висоті 100 м у межах Бородянської ТГ, в центральній частині, на північному заході та на крайньому сході Іванківської ТГ, а також західна та центральна частина Поліської ТГ (рис. 1).

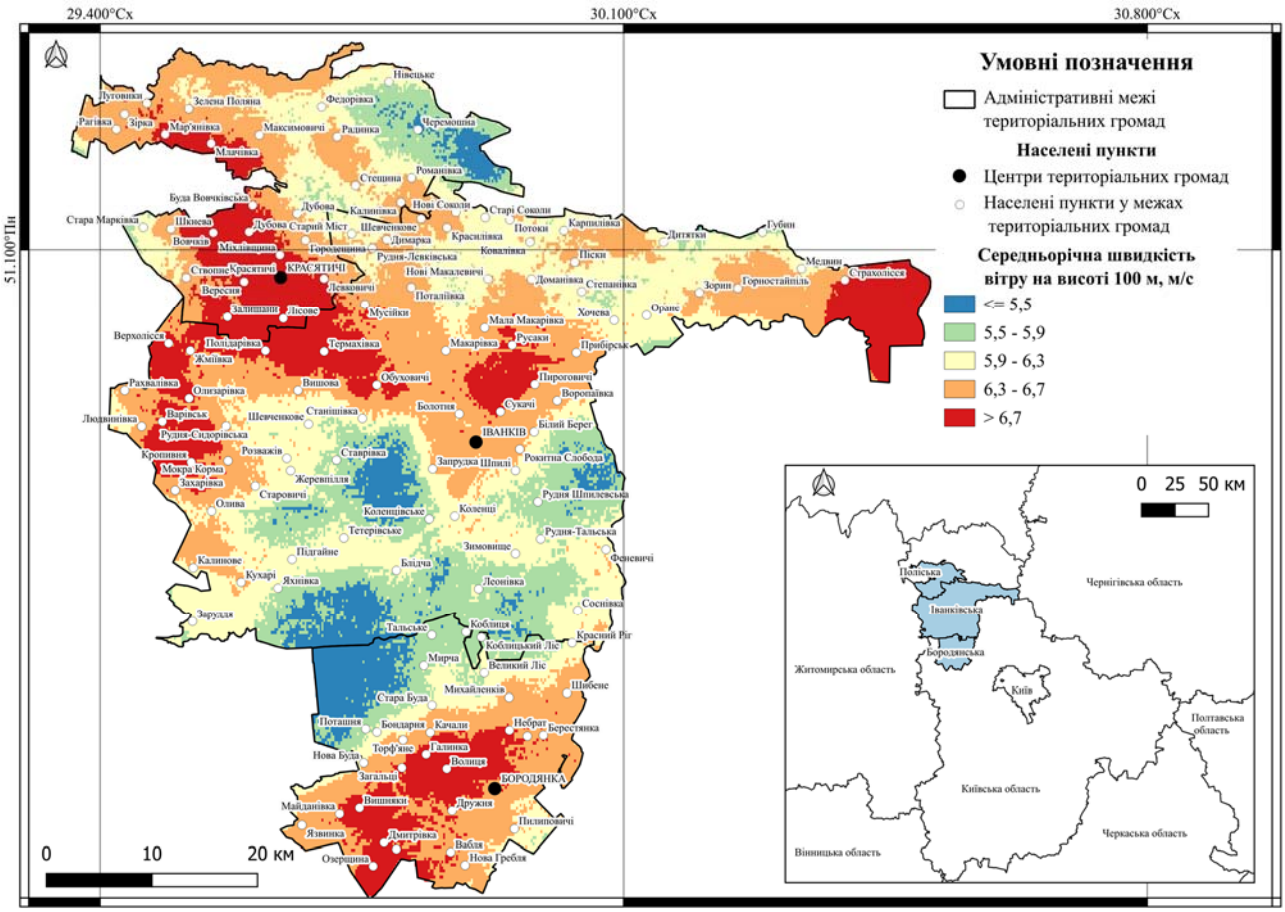


Рис. 1. Середньорічна швидкість вітру на висоті 100 м в межах території дослідження (складено за даними Global Wind Atlas [12, 16])

Другий етап (картографування обмежень території)

Наведені критерії мають різну правову та функціональну природу, зокрема: території та об'єкти природно-заповідного фонду [6], території Смарагдової мережі [11] та території з установленим водоохоронним режимом [1] насамперед формують екологічний блок; межі населених пунктів, санітарно-захисна зона [3,4], забудовані території, функціональне призначення територій та відповідні просторові відстані -просторовий блок; земельний блок має охоплювати правовий режим земель і земельних ділянок, їх цільове призначення та встановлені обмеження у використанні земель.

У даному дослідженні з екологічних обмежень картографовано обмеження від об'єктів природно-заповідного фонду, Смарагдової мережі, прибережно-захисну смугу водних об'єктів, з просторових обмежень – санітарно-захисну смугу від межі житлової забудови. В Державних санітарних правилах планування та забудови населених пунктів: ДСП 173-96, [3], розмір СЗЗ для вітрових електростанцій не встановлено. У ДСТУ 8339:2015 «Вітроенергетика. Вітроелектростанції. Оцінення впливу вітроелектростанції на навколишнє природне середовище» [4] визначено наступні відстані – 400 м для ВЕС загальною потужністю до 20 МВт із ВЕУ (вітроенергетичної установки) потужністю 100 кВт, 700 м – для ВЕС загальною потужністю понад 20 МВт із ВЕУ (вітроенергетичної установки) потужністю понад 100 кВт. Для картографування взято відстань 700 м.

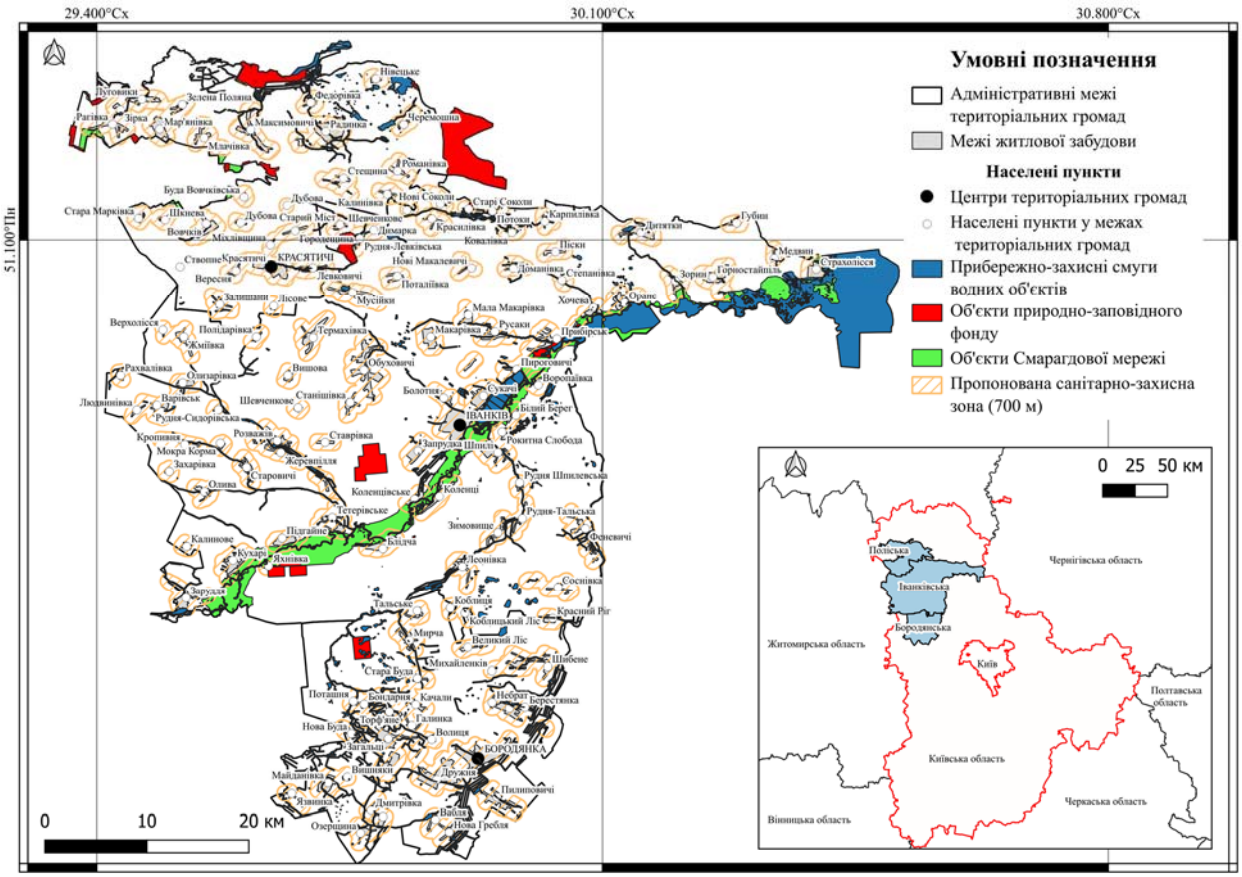


Рис. 2. Передпроєктний ГІС- скринінг обмежень (визначених на другому етапі) в межах території дослідження (складено на основі [1, 4, 6, 7, 11, 17])

Третій етап (потенційних ділянок для будівництва вітрових електростанцій і вилучення ділянок з екологічними обмеженнями).

Результати ГІС-скринігу подано на рис. 3. За даними карта бачимо, що в межах території дослідження можуть розглядатися проекти як потенційні для подальшого детального аналізу з вітрової енергетики в Поліській громаді (за межами населених пунктів Млачівка, Буда Вовчківська, Вовчків, Дубова, Міхлівщина, Красятичі, Лісове та Залишани), в Іванківській громаді (за межами населених пунктів Жміївка, Варівстк, Людвинівка, Полідарівка, Термахівка, Пироговичі), в Бородянській громаді (за межами населених пунктів Озерщина, Дмитрівка, Вишняки, Бородянка, Волиця та Галинка).

Результати передпроєктного ГІС-скринінгу мають попередній, первинний характер. Віднесення території до потенційно придатної за результатами передпроєктного ГІС-скринінгу не означає автоматичної можливості розміщення на ній конкретного об'єкта вітрової енергетики.

Четвертий етап (перевірка правового режиму конкретних земельних ділянок)

На наступному етапі необхідна перевірка правового режиму конкретних земельних ділянок, їх цільового призначення, містобудівної документації, установлених обмежень у використанні земель і територій, а також проходження передбачених законодавством дозвільних та екологічних процедур, що застосовуються до конкретного проєкту. Формулювання «найкраще розвивати проєкти» доцільно замінити на «можуть розглядатися як потенційні для подальшого детального аналізу».

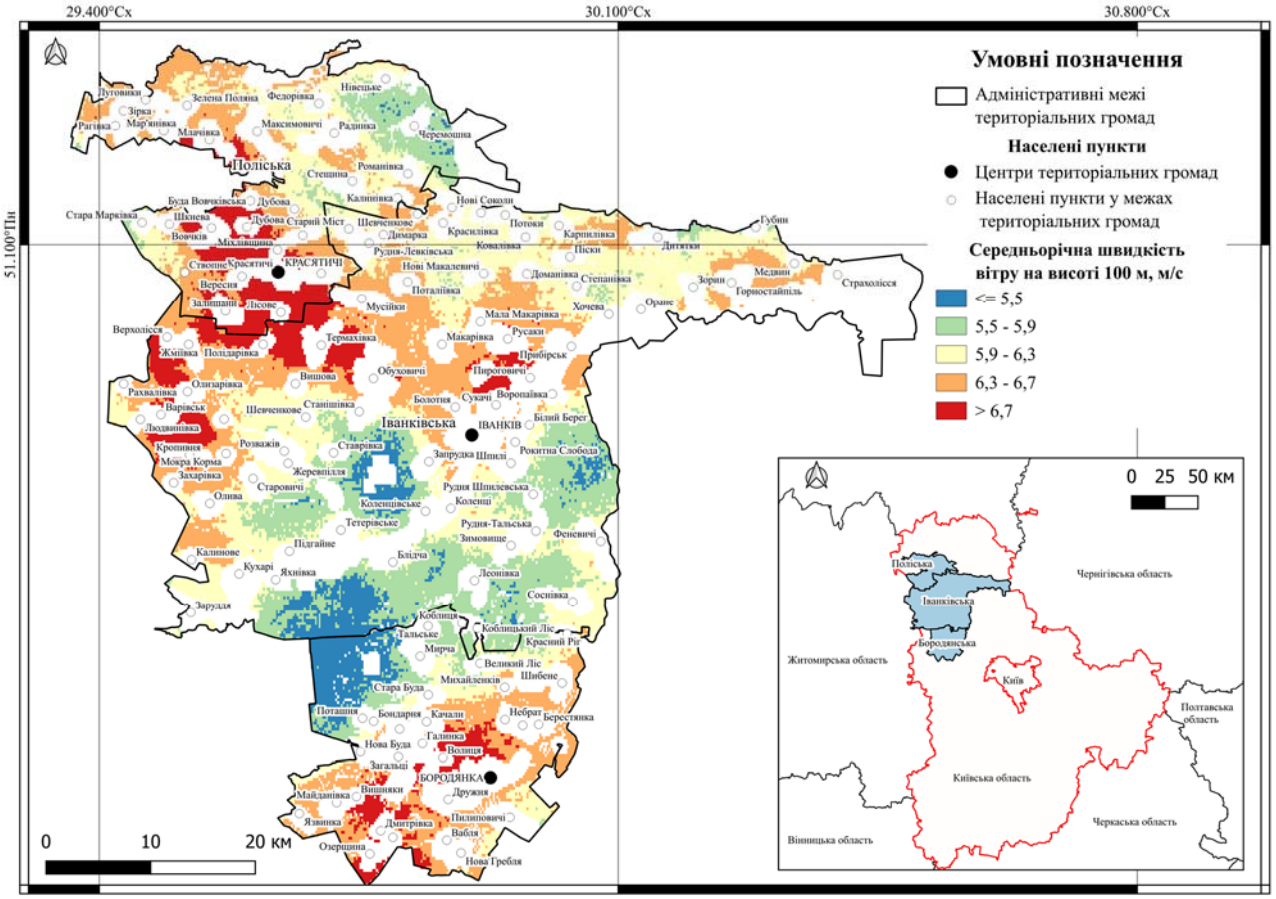


Рис. 3. Ділянки потенційної реалізації проектів в межах території дослідження (складено на основі [1, 4, 6, 7, 11, 12, 17])

Висновки. Проведений геоінформаційний аналіз підтвердив доцільність використання передпроєктного ГІС-скринінгу для визначення потенційних територій розміщення об’єктів вітрової енергетики. Водночас результати дослідження свідчать про доцільність комплексного врахування під час передпроєктного ГІС-скринінгу трьох взаємопов’язаних груп обмежень - екологічних, просторових та земельних. Такий підхід дозволяє на ранньому етапі не лише ідентифікувати екологічно чутливі території, а й врахувати просторову організацію території та особливості правового режиму земель, що можуть впливати на можливість реалізації вітроенергетичного проєкту. При цьому результати передпроєктного ГІС-скринінгу мають попередній характер: визначення території як потенційно придатної не є висновком про допустимість будівництва конкретного об’єкта вітрової енергетики та потребує подальшої перевірки містобудівної документації, правового режиму конкретних земельних ділянок, установлених обмежень у використанні земель і територій та виконання інших передбачених законодавством вимог.

Новизна дослідження. Удосконалено підхід до передпроєктного ГІС-скринінгу територій для розміщення об’єктів вітрової енергетики шляхом систематизації та комплексного врахування трьох взаємопов’язаних груп обмежень — екологічних, просторових та земельних. Такий підхід дозволяє на ранньому етапі виявляти території з потенційними екологічними, просторовими та земельно-правовими конфліктами та визначати території, що потребують подальшого детального аналізу.

Список використаних джерел:

1. Водний кодекс України. Відомості Верховної Ради України від 13.06.1995 – 1995 р., № 24, стаття 189.

2. Державна служба України з питань геодезії, картографії та кадастру: офіційний веб-сайт. URL: https://land.gov.ua/ (дата звернення: 20.09.2026 р.).

3. Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів: ДСП 173-96, затверджені наказом Міністерства охорони здоров'я України від 19.06.1996 № 173.
4. ДСТУ 8339:2015. Вітроенергетика. Вітроелектростанції. Оцінення впливу вітроелектростанцій на навколишнє середовище. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2017.
5. Закон України № 2059-VIII «Про оцінку впливу на довкілля». Офіційний вісник України від 27.06.2017 – 2017 р., № 50, стор. 5, стаття 1549, код акта 86334/2017.
6. Закон України № 2456-XII «Про природно-заповідний фонд України». Відомості Верховної Ради України – 1992 р., № 34, стаття 502.
7. Закон України № 3038-VI «Про регулювання містобудівної діяльності». Офіційний вісник України від 18.03.2011 – 2011 р., № 18, стаття 735, код акта 55190/2011.
8. Земельний кодекс України. Відомості Верховної Ради України від 25.01.2002 – 2002 р., № 3, стаття 27.
9. Лопушанська М. Р. Відновлювана енергетика Львівської області: стан і вплив на довкілля : дис. … д-ра філософії : 103 Науки про Землю. Львів : Львівський національний університет імені Івана Франка, 2025.
10. Лопушанська Марія, Іванов Євген, Лопушанський Олександр, Башинська Юлія. Вибір ділянки для будівництва вітрової електростанції з використанням ГІС-підходу (на прикладі Підкамінської територіальної громади Золочівського району). Конструктивна географія і картографія: стан, проблеми і перспективи : матеріали міжнародної науково-практичної конференції, присвяченій 25-річчю кафедри конструктивної географії і картографії Львівського національного університету імені Івана Франка (м. Львів, 1–3 травня 2025 р.). Львів : Простір-М, 2025. С. 284–287.
11. Emerald Network. General Viewer : веб-сайт. URL: https://emerald.eea.europa.eu/ (дата звернення: 20.09.2026 р.).
12. Global Wind Atlas: офіційний сайт. URL: https://globalwindatlas.info/en (дата звернення: 20.09.2026 р.).
13. Google Earth. URL: https://earth.google.com/earth (дата звернення: 20.09.2026 р.).
14. Ivanov Ye., Lopushanska M., Teslovych M. Environmental Restrictions of Planning the Construction of Renewable Energy Facilities in Lviv Region. International Conference of Young Professionals «GeoTerrace-2022» (October 3–5, 2022, Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine). DOI: https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022590068
15. Lopushanska M., Ivanov Ye., Bashynska Yu., Lopushanskyi O., Tsyganok L. Geoinformation modelling for the selection of wind energy project sites. International Conference of Young Professionals «GeoTerrace-2024» (October 7–9, 2024, Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine). DOI: https://doi.org/10.3997/2214-4609.2024510051
16. OpenStreetMap : веб-сайт. URL: https://www.openstreetmap.org (дата звернення: 20.09.2026 р.)

UDC 504.06:622:004.9

MONITORING OF POST-INDUSTRIAL MINING AND CHEMICAL SITES IN THE CONTEXT OF THE GREEN TRANSITION

Dzhumelia E., *PhD, ORCID ID 0000-0003-3146-8725, elviradzhumelia@gmail.com;*
Dzhumelia V., *ORCID ID 0000-0002-4394-0137, vdzhumelia@gmail.com;*
Fechan A., *Dr. Sc., Prof., ORCID ID 0000-0001-9970-5497, andrii.v.fechan@lpnu.ua;*
Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

The paper substantiates an approach to digital monitoring of the physicochemical state of post-industrial mining and chemical sites in the context of the green transition and sustainable development. The approach is based on the complementary use of optical sensing, digital image acquisition and processing, and identification of distributed monitoring points. The Rozdil Mining and Chemical Enterprise "Sirka" is considered a case study of a post-industrial site that requires long-term environmental monitoring during reclamation and subsequent management. The potential of optical sensing is analysed as a means of obtaining repeated information on changes in selected physicochemical parameters through changes in the colour or other optical characteristics of sensitive elements. The proposed concept includes digital identification of sensor tags and association of optical responses with specific monitoring points and contextual information. Optical monitoring is considered a complementary tool to conventional laboratory and instrumental methods, rather than a replacement for them. The approach can provide a basis for the spatially distributed collection of structured environmental data and support the assessment of environmental changes, reclamation planning, and sustainable management of post-industrial territories. Further research should focus on the calibration of optical sensing elements, the standardization of image acquisition, and validation under real-world environmental conditions.

Keywords: post-industrial territories, mining and chemical enterprises, environmental monitoring, digital monitoring, optical sensing, colorimetric sensing, green transition, sustainable development.

Introduction

The reclamation of post-industrial mining territories is an important component of sustainable land management and the transition towards a green economy. Former mining and chemical sites may remain sources of environmental risk due to accumulated waste, disturbed soils, altered hydrological conditions, and residual contamination. Their rehabilitation, therefore, requires not only restoration measures but also long-term assessment of environmental changes and the effectiveness of reclamation activities (Worlanyo & Jiang, 2021; Martins et al., 2020; Harries et al., 2024).

The Rozdil Mining and Chemical Enterprise "Sirka" is a representative post-industrial mining and chemical site in Ukraine. Its long-term operation resulted in substantial landscape transformation and accumulation of industrial waste. Previous studies have reported changes in surface- and groundwater quality, as well as soil degradation, in post-industrial mining areas (Pohrebennyk et al., 2019; Bernatska et al., 2023). Such conditions require monitoring approaches that provide spatially and temporally relevant information during reclamation and subsequent management of the territory.

Conventional monitoring based on field sampling, laboratory analysis, and instrumental measurements remains essential for quantitative environmental assessment. However, repeated measurements at numerous distributed locations can be resource intensive. This creates a need for complementary approaches that can provide operational information on environmental changes. Digital technologies offer opportunities to combine sensing, image acquisition, automated processing, identification of observation points, and structured storage of monitoring data.

Optical sensing is a promising basis for such approaches because changes in environmental conditions can be represented by changes in the colour or other optical characteristics of a sensitive element. Low-cost and portable colorimetric sensors have been widely investigated for environmental analysis, while digital imaging provides a means of recording and processing optical responses outside conventional laboratory instrumentation (Alberti et al., 2020; Caroleo et al., 2022; Kant et al., 2023). The use of an external imaging device also enables separation of the sensing element from the measurement and data-processing system, which may be advantageous for distributed monitoring.

For practical digital monitoring, the optical response should be linked to the corresponding sensor, observation point, monitored parameter, and observation history. The combination of optical sensor tags with digital identification technologies can provide such a link and lay the foundation for structured, spatially distributed environmental observations. In this context, optical monitoring is considered not as a replacement for laboratory and instrumental analyses but as a complementary source of repeated information that can support environmental management and reclamation planning.

Therefore, the purpose of this study is to substantiate an approach to digital monitoring of the physicochemical state of post-industrial mining and chemical sites in the context of the green transition and sustainable development, with a focus on the potential of optical sensing methods. The Rozdil Mining and Chemical Enterprise "Sirka" is considered a case study.

Study Area and Research Methods

The study focuses on the territory of the former Rozdil Mining and Chemical Enterprise "Sirka", located in the Lviv Region of western Ukraine. The enterprise operated from 1956 to 1996 and was associated with the extraction and processing of sulphur-containing raw materials. During the operational period, significant volumes of industrial waste accumulated within the territory, including sulphur-containing materials, flotation tailings, phosphogypsum, recycled water sediments, tars, and other waste materials. Following the cessation of production, the territory acquired the characteristics of a post-industrial landscape with disturbed soils, altered hydrological conditions, and a number of potentially hazardous environmental features.

Previous investigations of the territory and other post-industrial mining areas have identified changes in surface- and groundwater quality and degradation of soil properties. In particular, the occurrence of elevated concentrations of individual chemical components in environmental media indicates the need for long-term observation of physicochemical changes during reclamation and subsequent management of the territory (Pohrebennyk et al., 2019; Bernatska et al., 2023). These characteristics make the "Sirka" site suitable as a case study for considering approaches to distributed digital environmental monitoring.

The monitoring concept considered in this study is intended for environmental components and observation points where changes in selected physicochemical parameters can be associated with a measurable optical response. The proposed approach does not assume replacement of existing laboratory and instrumental monitoring. Instead, it is considered as an additional layer of observation that can provide repeated information on environmental changes at selected locations.

The research is based on a conceptual and technological analysis of the potential application of optical sensing methods for digital monitoring of post-industrial mining and chemical territories. The proposed approach combines four principal components: an optical sensing element, digital image acquisition, automated processing of the optical signal, and digital identification of the observation point.

Results and Discussion

The general monitoring workflow includes the following stages:

1. Selection of the monitoring parameter and observation point. A physicochemical parameter relevant to the environmental condition of the territory is selected, and a corresponding monitoring location is defined.

2. Optical sensing. A passive optical sensing element is placed at the selected observation point. A change in the monitored environmental parameter is associated with a change in the optical characteristics of the sensing element, such as colour or spectral response.

3. Digital image acquisition. The optical state of the sensing element is recorded using a digital camera, smartphone, or another suitable imaging device. The sensing element does not require a direct electrical connection to the image acquisition device.

4. Digital identification. A sensor tag can be combined with a QR code or another digital identifier. The identifier can contain information about the monitoring point, sensor, monitored parameter, or other metadata required for interpretation of the measurement.

5. Image processing and optical parameter extraction. The acquired image is processed using computer-vision and image-analysis techniques. Depending on the sensor design, the processing may include image cropping, geometric correction, noise reduction, colour-space transformation, white-balance correction, and extraction of colour or spectral characteristics from the sensing area.

6. Association of the optical response with environmental information. The extracted optical characteristics are linked to the identifier and corresponding monitoring point, creating a structured digital observation.

7. Integration into a monitoring system. Repeated observations can be accumulated in a digital database or information system, enabling comparison of measurements over time and between spatially distributed monitoring points.

Attention is given to the factors that may influence the reliability of optical measurements. These include illumination conditions, camera characteristics, observation geometry, white balance, image noise, and the optical properties of the sensor surface. Standardisation of image acquisition and appropriate calibration are therefore considered necessary for obtaining comparable measurements.

The methodological approach assumes that optical sensing should be used as a complementary monitoring technique. Laboratory analysis and established instrumental methods remain necessary for quantitative verification and detailed characterisation of environmental samples, whereas optical monitoring can provide additional repeated observations and support early identification of changes in the monitored condition.

The applicability of the proposed approach to the “Sirka” site is assessed conceptually by considering the characteristics of the post-industrial territory, the need for distributed environmental observation, and the potential of optical sensing and digital image processing to support monitoring during reclamation and subsequent sustainable management.

The analysis of the environmental characteristics of the Rozdil Mining and Chemical Enterprise “Sirka” and the potential of optical sensing methods indicates that digital optical monitoring can be considered as a complementary component of environmental management of post-industrial territories. The main advantage of the proposed approach is the possibility of combining a passive sensing element, digital identification, image-based measurement, and structured storage of observations within a single monitoring workflow.

The reliability of optical monitoring remains an important methodological issue. Optical measurements can be affected by illumination, camera characteristics, observation distance and angle, surface properties, white balance, and image-processing parameters. Consequently, practical implementation requires standardised image acquisition procedures, calibration of sensor responses, and validation against conventional instrumental or laboratory measurements. These requirements are particularly important when optical measurements are intended for quantitative assessment rather than simple detection of changes.

The proposed approach should therefore be regarded as complementary to, rather than a replacement for, established environmental monitoring techniques. Laboratory analyses remain necessary for determining the detailed chemical composition of environmental media and for regulatory assessment. Optical monitoring can provide more frequent observations between laboratory measurements, support the identification of changes requiring further investigation, and facilitate the spatial distribution of monitoring points.

From the perspective of the green transition, the integration of optical sensing into digital environmental monitoring can contribute to more information-based management of post-industrial territories. The availability of spatially and temporally structured environmental data can support prioritisation of reclamation measures, assessment of changes during restoration, identification of areas requiring additional investigation, and subsequent evaluation of the effectiveness of rehabilitation measures.

Conclusions

A conceptual approach to digital monitoring of the physicochemical state of post-industrial mining and chemical sites in the context of the green transition and sustainable development has been proposed. The approach combines passive optical sensing, digital image acquisition and processing, identification of monitoring points, and structured storage of environmental observations.

The analysis demonstrates that optical sensing methods can serve as a complementary component of environmental monitoring systems for post-industrial territories. Their potential advantage is the possibility of recording changes in the optical response of a sensing element using an external imaging device without requiring a direct electrical connection at the sensing point. This creates opportunities for distributed observations in locations where conventional electrical sensors may be technically inconvenient.

The integration of optical sensor tags with digital identification technologies, such as QR codes, provides a means of associating an optical measurement with a specific monitoring point, monitored parameter, and additional contextual information. Combined with image-processing techniques, this approach can form a basis for collecting spatially and temporally structured environmental data.

For the Rozdil Mining and Chemical Enterprise "Sirka", the proposed approach can complement conventional laboratory and instrumental monitoring during reclamation and subsequent management of the post-industrial territory. Its potential application includes repeated observation of selected physicochemical changes in environmental components and support for the identification of areas requiring further investigation.

From the perspective of the green transition and sustainable development, digital optical monitoring can contribute to more informed management of disturbed territories by providing additional operational information on environmental changes. Further research should focus on the selection and calibration of optical sensing elements for specific physicochemical parameters, standardisation of image acquisition conditions, validation against laboratory and instrumental measurements, and experimental testing under real environmental conditions at post-industrial sites.

References

Ahirwal, J., Maiti, S. K., & Reddy, K. R. (2021). Restoration of mine degraded land for sustainable environmental development. *Restoration Ecology, 29*(S4), e13268. https://doi.org/10.1111/rec.13268

Alberti, G., Zanoni, C., Magnaghi, L. R., & Biesuz, R. (2020). Disposable and low-cost colorimetric sensors for environmental analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 17*(22), 8331. https://doi.org/10.3390/ijerph17228331

Bernatska, N., Dzhumelia, E., Dyakiv, V., Mitryasova, O., & Salamon, I. (2023). Web-based information and analytical monitoring system tools – Online visualization and analysis of surface water quality of mining and chemical enterprises. *Ecological Engineering and Environmental Technology, 24*(3), 99–108. https://doi.org/10.12912/27197050/159885

Caroleo, F., Magna, G., Naitana, M. L., Di Zazzo, L., Martini, R., Pizzoli, F., Muduganti, M., Lvova, L., Mandoj, F., & Paolesse, R. (2022). Advances in optical sensors for persistent organic pollutant environmental monitoring. *Sensors, 22*(7), 2649. https://doi.org/10.3390/s22072649

Harries, K. L., Woinarski, J., Rumpff, L., Gardener, M., & Erskine, P. D. (2024). Characteristics and gaps in the assessment of progress in mine restoration: Insights from five decades of published literature relating to native ecosystem restoration after mining. *Restoration Ecology, 32*(1), e14016. https://doi.org/10.1111/rec.14016

Kant, T., Shrivas, K., Tejwani, A., Tandey, K., Sharma, A., & Gupta, S. (2023). Progress in the design of portable colorimetric chemical sensing devices. *Nanoscale, 15*, 19016–19038. https://doi.org/10.1039/D3NR03803C

Martins, W. B. R., Lima, M. D. R., Barros Junior, U. O., Amorim, L. S. V.-B., Oliveira, F. de A., & Schwartz, G. (2020). Ecological methods and indicators for recovering and monitoring ecosystems after mining: A global literature review. *Ecological Engineering, 145*, 105707. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2019.105707

Pohrebennyk, V., Koszelnik, P., Mitryasova, O., Dzhumelia, E., & Zdeb, M. (2019). Environmental monitoring of soils of post-industrial mining areas. *Journal of Ecological Engineering, 20*, 53–61. https://doi.org/10.12911/22998993/112342

Worlanyo, A. S., & Jiang, L. (2021). Evaluating the environmental and economic impact of mining for post-mined land restoration and land-use: A review. *Journal of Environmental Management, 279*, 111623. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111623

UDC 550.36:553.04

INTEGRATED ASSESSMENT OF GEOTHERMAL PROJECTS WITH CRITICAL MINERAL RECOVERY

Kurylo M.*[1,2]*, *Dr. Sci. (Geol.), m.kurylo@pobuzhye.com.ua ,*
Virshylo I.*[2]*, *ivirshylo@gmail.com ;*
Dokuka O.*[3]*, *postgraduate, oleh.dokuka@icloud.com;*
1 – Mining Division BGV Group Management, Kyiv, Ukraine,
2 – Taras Shevchenko National University of Kyiv, Institute of Geology, Kyiv, Ukraine,
3 – Institute of Geophysics (IGP) of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

The paper proposes an integrated framework for evaluating geothermal projects in which thermal energy production is combined with recovery of critical raw materials (CRM) from geothermal and formation brines. The approach links geological and hydrogeochemical data, temperature depth conditions, brine flow rate, target element concentration, recovery efficiency, project maturity, technology selection, and economic indicators within a single decision sequence. The methodology is illustrated using scenarios for Transcarpathian brines, with lithium considered as the principal target component and Mg, Sr, Ge and I as additional potentially valuable constituents. For the Solotvyno basin, the analysed dataset includes Li concentrations from 3.2 to 80 mg/L, temperatures beetween 55, 90 and 115 °C and assumed recovery rates of 70-90%. The proposed assessment distinguishes resource potential from technically recoverable and economically viable production and incorporates uncertainty through minimum, average and maximum scenarios.

Keywords: geothermal brines; critical raw materials; lithium; direct lithium extraction; project evaluation

Introduction. Geothermal projects are increasingly considered not only as sources of heat and electricity but also as potential integrated subsurface resource projects. Geothermal fluids may contain dissolved lithium and other elements that can become recoverable co-products or by-products when suitable concentrations, flow rates and separation technologies are available. This approach is especially relevant for high-salinity brines and sedimentary basins, where the same well infrastructure can potentially support both energy production and mineral recovery. Recent European and U.S. programmes explicitly connect geothermal development with CRM supply, while the United Nations Framework Classification for Resources UNFC provides a common project based framework for evaluating geothermal resources (*Balaram, V.*, 2026; *European Commission*, 2026; *United Nations Economic Commission for Europe*, 2022; *U.S. Department of Energy*. 2026).

For Ukraine, integrated geothermal CRM evaluation is relevant because geothermal prospects in the Transcarpathian region coincide with highly mineralized formation waters and a long history of deep drilling (*Virshylo, I.,* 2026). The key methodological challenge is that a high concentration of a target element alone does not define a viable project. Project value is controlled by the combined influence of geological knowledge, temperature, sustainable fluid production, chemistry of the brine, selectivity and recovery of the extraction process, infrastructure, environmental constraints, product specifications and market conditions.

Objective and methodology. The objective of this study is to develop a practical integrated assessment sequence for geothermal projects with associated CRM recovery and to demonstrate its application to lithium-bearing brines in Transcarpathia. The proposed workflow consists of six linked blocks: (1) geological and geothermal resource characterization; (2) hydrogeochemical screening; (3) estimation of recoverable mineral output; (4) technology selection; (5) economic and environmental assessment; and (6) project-maturity and uncertainty classification.

Hydrogeochemical screening uses threshold concentrations as an initial filter rather than as a direct economic cut-off. The working dataset applies indicative screening values of 10 mg/L for Li, 500 mg/L for Mg, 300 mg/L for Sr, 0.1 mg/L for Ge and 10 mg/L for I. These values identify samples or areas that require more detailed technological and economic evaluation. For lithium, recoverable production is estimated from concentration, brine flow, operating time and recovery efficiency. Minimum, average and maximum scenarios are retained throughout the

calculation to prevent a single deterministic estimate from masking geological and technological uncertainty.

The proposed workflow is implemented in the Critical HydroMinerals Calculator (CHydroMC), a software product developed for screening and scenario based evaluation of critical raw materials in geothermal, formation and oilfield brines. CHydroMC integrates source-water chemistry, well depth, temperature, flow rate, project stage, operating life and technology-specific recovery assumptions to estimate potentially recoverable mineral output and to compare alternative development scenarios. The calculator is designed to bridge the gap between an initial hydrogeochemical indication and a project-oriented assessment by converting concentration data into production and economic metrics under explicitly stated assumptions. In the present study, the Solotvyno and other Transcarpathian scenarios are used to demonstrate this logic. CHydroMC is therefore considered not as a substitute for laboratory or feasibility studies, but as a decision-support tool for early-stage screening, identification of key data gaps and prioritization of wells or areas for further testing.

Table 1

Integrated framework for geothermal projects with CRM recovery

Assessment block	Key parameters	Main uncertainty	Decision output
Geological / thermal	Depth, temperature, reservoir geometry, permeability, sustainable flow	Spatial continuity and production response	Energy-resource scenario
Hydrogeochemical	Li, Mg, Sr, Ge, I; salinity; interfering ions	Sampling representativeness and temporal variability	CRM screening and target selection
Technology	Pre-treatment, DLE/selective recovery, reinjection compatibility	Selectivity, recovery, scaling, sorbent/reagent performance	Process route and recovery factor
Economic	CAPEX, OPEX, product price, project life, discount rate	Price and scale sensitivity	NPV, payback, cost and capacity class
Project maturity	Data quality, studies, permits, environmental/social conditions	Maturity of evidence and approvals	UNFC consistent project status

Results and discussion. The Transcarpathian scenarios demonstrate why geothermal and mineral components should be assessed together. For the Solotvyno basin, the available dataset gives Li concentrations of 3.2–80 mg/L. The corresponding temperature scenarios are approximately 55 °C at 1 km, 90 °C at 2 km and 115 °C. For the Rakhiv-Komarivska area, Li values range from 25 to 250 mg/L, while modelled temperatures increase from about 65 °C at 1 km to 120 °C at 3 km. The Zaluzhanska scenario uses an average Li concentration of 25 mg/L and temperatures of about 70, 105 and 125 °C at 1, 2 and 3 km, respectively. These ranges indicate that a deeper and hotter target does not automatically produce the strongest mineral case; concentration, fluid productivity and recovery must be evaluated simultaneously.

For technology screening, the source model considers recovery efficiencies of 70, 80 and 90%. Direct lithium extraction (DLE) is particularly relevant for geothermal brines because it can be integrated into a circulating-fluid system and can reduce the surface footprint compared with conventional evaporation-based lithium production. However, DLE performance is brine-specific. High salinity, Mg/Li ratio, silica, iron and other dissolved components may control pre-treatment requirements, selectivity, reagent consumption, scaling behaviour and reinjection conditions. Therefore, laboratory and pilot testing on representative brine is required before assigning a feasibility level recovery factor.

The economic model evaluates a Solotvyno case with a nominal brine capacity from 300 to 900 m^3/day, a depth from 1,000 to 2,000 m and a 20-year operating life. The model uses a

lithium product price of USD 10,094.4/t, a 15% discount rate and reports a payback period of about 4.5 years for the base case. These results are useful as a screening-level illustration rather than a bankable estimate, because the economic outputs depend strongly on unit conventions, flow sustainability, actual DLE performance, product specification, infrastructure sharing with the geothermal plant and the allocation of common CAPEX and OPEX between energy and mineral products.

A central feature of the proposed approach is the treatment of mineral recovery as an additional project product rather than an isolated deposit. In an integrated project, the geothermal system supplies the fluid and may provide heat and electricity for the mineral-processing circuit, while CRM recovery can create an additional revenue stream and improve resource efficiency. Conversely, mineral extraction can introduce new technical risks, including brine pre-treatment, handling of residual streams and changes to fluid chemistry before reinjection. The optimum project configuration is therefore defined by the combined value of energy and mineral products, not by maximum recovery of a single element.

The integrated assessment should distinguish between a geochemical occurrence, a recoverable mineral resource and a project-defined product stream. Concentration alone is insufficient: recoverable output also depends on sustainable brine flow, operating time, recovery efficiency and product specification. This distinction is important at early stages, when historical chemical analyses may suggest mineral potential but do not yet demonstrate continuity, long-term productivity or process performance. Accordingly, CHydroMC treats concentration as one input in a broader scenario rather than as a stand-alone economic cut-off.

Technology selection must be based on brine-specific characteristics. DLE routes may use adsorption, ion exchange, membranes or other selective separation approaches, but their performance depends on salinity, Mg/Li ratio, silica, iron and competing ions. The appropriate recovery factor should therefore evolve from an assumed screening value to a laboratory-tested and then pilot-validated parameter. For integrated geothermal schemes, the process must also remain compatible with heat extraction and reinjection requirements.

Potential co-products should be assessed by the same logic. The source data identify Mg, Sr, Ge and I as additional components of interest. Their presence may increase project value, but only where concentration, recoverability, product quality and market scale justify an additional separation stage. Multi-component brines therefore require a product hierarchy: a principal revenue product, technically realistic co-products and non-economic dissolved constituents. This hierarchy can be tested in CHydroMC through alternative recovery and product scenarios.

Economic evaluation should separate common geothermal infrastructure from mineral-specific facilities. Wells, pumps, gathering systems and reinjection may serve both energy and mineral recovery, whereas pre-treatment, DLE units, polishing and product conversion are mineral-specific. This allocation is essential because co-production may improve project economics through shared infrastructure, while additional processing may increase CAPEX, OPEX and technical risk. Sensitivity analysis should therefore focus on brine flow, recovery, product price, operating life and the allocation of shared costs.

Uncertainty should be tracked separately for geology, hydrogeology, chemistry, technology and economics. Minimum-average-maximum scenarios are useful for screening, but later stages require measured flow, repeated chemical sampling, process testwork and updated cost data. The largest value of scenario tools such as CHydroMC is not a single forecast, but identification of the variables that most strongly control recoverable output and economic performance.

An integrated UNFC representation prevents geological confidence from being mistaken for commercial readiness. A project may have well-defined brine chemistry but still remain immature because recovery technology, permits, infrastructure or commercial conditions are unresolved. Linking CHydroMC scenarios to the E-F-G logic therefore provides a transparent path from initial screening to prefeasibility and feasibility, with assumptions progressively replaced by verified project data.

The novelty of the approach is the combination of geothermal resource assessment and CRM recovery in one project evaluation chain with common uncertainty scenarios. Instead of treating brine chemistry as a secondary descriptive characteristic, the method connects chemical composition directly to recoverable product, technology choice, project economics and maturity. This provides a practical screening tool for ranking wells and areas, identifying the data that most strongly affect project value, and defining the next-stage work programme. The practical implementation of this methodology in CHydroMC adds a reproducible digital layer to the assessment, allowing geological, technological and economic assumptions to be tested consistently across alternative brine and project scenarios.

Conclusions. Integrated geothermal CRM projects require simultaneous assessment of heat, fluid and dissolved mineral resources. A robust evaluation should include temperature/depth conditions and sustainable flow; representative brine chemistry; target element concentration and interfering components; technology specific recovery; energy and mineral product scenarios; CAPEX and OPEX allocation; environmental and reinjection constraints; and project maturity. The Transcarpathian case study shows that lithium-bearing brines can be screened using minimum–average–maximum scenarios, but commercial conclusions should only be made after validation of flow, chemistry and extraction performance. The proposed framework can be used as a basis for prefeasibility studies and for UNFC consistent classification of integrated geothermal projects with critical mineral recovery. CHydroMC can support this workflow at the screening and prefeasibility stages by structuring input data, testing minimum-average-maximum cases and identifying the parameters that most strongly control recoverable output and project economics.

Acknowledgement. The study is related to the broader research and cooperation context of the Geothermal Ukraine – Empowering Change for Good: Making Difference in Technology for Rapid Deployment project, aimed at supporting geothermal energy development for sustainable recovery and energy security in Ukraine *https://innovateukraine.io/case_study/geothermal-ukraine-empowering-change-for-good-through-geothermal-energy/* .

References

Balaram, V., Satyanarayanan, M., & Ray, L. (2026). Worldwide geothermal systems as potential sources for critical metals like lithium, rare earth elements, and others. *Geoscience Frontiers, 17*(5), 102337. https://doi.org/10.1016/j.gsf.2026.102337

European Commission. (2026). *Geothermal energy*. https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/geothermal-energy_en

United Nations Economic Commission for Europe. (2022). *Supplementary specifications for the application of the United Nations Framework Classification for Resources (Update 2019) to geothermal energy resources*. https://unece.org/sed/documents/2022/10/working-documents/supplementary-specifications-application-united-nations

U.S. Department of Energy. (2026, April 7). *DOE launches funding opportunity for critical minerals and materials*. https://www.energy.gov/hgeo/geothermal/articles/doe-launches-funding-opportunity-critical-minerals-and-materials

U.S. Department of Energy. (n.d.). *Lithium*. https://www.energy.gov/hgeo/geothermal/lithium

Virshylo, I., Mishuris, G., Topór, T., Karpenko, O., & Duchuk, S. (2026, April 20–24). Solotvyno Basin geothermal field development: Regional view and monitoring issues [Conference paper]. *19th International Conference "Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment"*, Kyiv, Ukraine. https://doi.org/10.3997/2214-4609.202655170

UDC 620.91:005.334

RISK ASSESSMENT OF GEOTHERMAL PROJECTS: APPROACHES TO UNCERTAINTY IDENTIFICATION AND MANAGEMENT

Kurylo M.*[1,2]*, *Dr. Sci. (Geol.), m.kurylo@pobuzhye.com.ua ,*
Virshylo I.*[2]*, *Doctoral researcher, ivirshylo@gmail.com ;*
Skripnik V.*[3]*, *Senior Researcher, skripnik.19931967@gmail.com,*
1 – Mining Division BGV Group Management, Kyiv, Ukraine,
2 – Taras Shevchenko National University of Kyiv, Institute of Geology, Kyiv, Ukraine,
3 – Branch "Ukrainian Research Institute of Natural Gases (UkrNDIGas)" of Joint Stock Company "UkrGasVydobuvannya", Kyiv, Ukraine

Geothermal projects are characterized by a combination of geological, technological, regulatory, financial and environmental uncertainties that evolve significantly during the project life cycle. The paper presents a structured approach to risk assessment based on identification, classification, scoring, prioritization and mitigation of project uncertainties. The methodology was applied to the Solotvyno geothermal project, where more than 100 potential risks were initially identified, 50 were selected as significant, and more than 20 priority risks were incorporated into the project risk matrix. Risk likelihood and impact were assessed on five-point scales, while the overall risk score was calculated as their product. Risks were additionally classified according to controllability as external, internal and mixed. The assessment demonstrates that geological uncertainty dominates the exploration phase, whereas permitting, financing and design risks become more important during development. Construction is primarily exposed to cost and contractor risks, while operational stages are increasingly influenced by equipment reliability, revenue stability and environmental compliance. Integration of critical raw material recovery from geothermal brines can increase project value but introduces additional technological and market uncertainties. The proposed approach supports stage-specific risk management and more robust decision-making under uncertainty.

Keywords: geothermal projects, risk assessment, uncertainty, geological risk, project life cycle, risk management.

Introduction. Geothermal energy projects are inherently associated with substantial uncertainty because their technical and economic performance depends simultaneously on subsurface conditions, reservoir characteristics, drilling results, technology performance, permitting procedures, market conditions and long-term operational parameters. Unlike many conventional energy projects, a significant part of the critical information required for investment decisions cannot be fully confirmed before drilling and reservoir testing.

The uncertainty is particularly important during the early stages of geothermal development, when temperature, reservoir productivity, permeability, fluid chemistry and sustainable production rates are commonly estimated from incomplete geological and geophysical datasets. As the project advances, the relative importance of individual risk categories changes: geological uncertainty gradually decreases, whereas engineering, construction, financial and operational risks become more significant. The complexity further increases for integrated geothermal projects where heat or electricity generation is combined with recovery of critical raw materials from geothermal brines. Such projects create additional economic opportunities but simultaneously introduce uncertainties related to mineral concentration, recovery efficiency, technological maturity, chemical processing, product quality and commodity prices.

The objective of this study is to develop and demonstrate a structured methodology for identification, classification and management of uncertainty in geothermal projects using the Solotvyno geothermal project as a case study.

Risk assessment methodology

The proposed methodology follows the general principles of ISO 31000 risk management and the risk assessment techniques described in ISO 31010 (*Risk management – Guidelines*, 2018; *Risk management,* 2019). The procedure consists of five main stages:

1. identification of potential project risks;
2. classification of risks according to their origin and controllability;
3. quantitative or semi-quantitative assessment of likelihood and impact;
4. prioritization of risks using a risk matrix;

5. definition of mitigation and monitoring measures.

For the Solotvyno basin, risks were classified into seven principal categories: geological, technical, environmental, regulatory, financial, social, operational. Each identified risk was assessed according to two parameters: likelihood and potential impact. Both parameters were evaluated using a five-point scale from 1 to 5. The overall risk score was determined as Risk Score = Likelihood × Impact. Consequently, the calculated scores provide a consistent basis for classifying risks as low, medium or high priority and identifying those requiring immediate mitigation measures (*Gambini, R.,* 2025; *Kassem, M. A.,* 2025; *Liu, W., & Ramirez, A.*, 2017; *Sanyal, S. K., & Morrow, J. W.*, 2020).

The assessment process initially identified more than 100 potential uncertainties and risk factors. Fifty risks were subsequently considered significant for project development, while more than twenty priority risks were included in the detailed project risk matrix. For each priority risk, the register includes its category, project stage, risk level, expected impact, proposed mitigation action and acceptable outcome.

An additional classification was introduced according to the level of project control:

- External risks include geological conditions, changes in legislation, market and currency conditions and community-related factors.
- Internal risks include technology selection, operations, project management and budget control.
- Mixed risks, which can only be partially controlled by the project developer, include drilling performance, induced seismicity, project revenues and reputation.

The analysis indicates that approximately 60–70% of the key project risks belong to external or only partially controllable categories. This emphasizes the importance of early geological investigations, stakeholder management, contractual mechanisms and risk-sharing instruments.

Evolution of risks through the geothermal project life cycle

The risk profile of a geothermal project is dynamic and changes substantially during project development.

During the exploration phase, geological uncertainty represents the dominant risk. The principal uncertainties concern reservoir geometry, temperature, permeability, fluid productivity and resource sustainability. Insufficient geological information may result in unsuccessful drilling, lower-than-expected flow rates or inadequate reservoir temperatures.

Resource validation therefore represents the key risk-reduction activity at this stage. Geological and geophysical investigations, test drilling and well testing progressively convert geological assumptions into measured project parameters.

During the development phase, the relative importance of geological risk decreases, while regulatory, financial and engineering risks increase. Major uncertainties are associated with permitting procedures, project financing, well-field configuration, plant design and technology selection.

The construction phase is dominated by execution risks, particularly cost overruns, schedule delays, contractor performance and technical integration. Effective procurement strategy, experienced contractors, contingency budgeting and construction monitoring therefore become major instruments of risk management.

During the operational phase, the project risk profile shifts toward equipment reliability, reservoir performance, maintenance requirements, revenue stability and environmental compliance. Continuous monitoring of production wells, reservoir pressure, fluid chemistry and plant performance becomes necessary to identify deviations from expected operating conditions.

At the end-of-life stage, the principal uncertainties concern well abandonment, site restoration, environmental liabilities and compliance with regulatory closure obligations.

Thus, the general evolution of the geothermal risk profile can be described as a transition from subsurface uncertainty through project execution risk toward operational and environmental management.

Geological confidence as the principal early-stage risk

Geological uncertainty has the strongest influence on geothermal project viability during exploration. Even when regional geological conditions indicate geothermal potential, commercial success depends on confirmation of several interrelated parameters, including reservoir depth, temperature, permeability, pressure, flow rate and fluid chemistry.

The Solotvyno assessment considers several potential development depths, including approximately 1,000 and 2,000, corresponding to expected temperatures of approximately 55, 90 and 115 °C (*Virshylo, I., Mishuris, G., Topór, T., Karpenko, O., & Duchuk, S.,* 2026). Such variation directly influences potential energy production, drilling costs and the choice of technological configuration. The project therefore requires progressive geological validation rather than reliance on a single deterministic resource estimate. Scenario-based assessment allows geological uncertainty to be represented explicitly by minimum, average and maximum values for the most important technical parameters.

This approach is particularly relevant when the geothermal resource is assessed together with dissolved mineral components.

Additional uncertainties associated with critical raw material recovery

The possibility of recovering critical raw materials from geothermal brines can significantly modify both the economic potential and the risk profile of a geothermal project.

In the Solotvyno case, lithium is considered among the potential mineral by-products. Available scenarios demonstrate substantial variability of lithium concentrations and recovery efficiencies. The assessment considers different concentration scenarios and recovery rates ranging approximately from 70 to 90%.

Mineral recovery introduces several additional risk groups.

- resource risk, because concentrations of dissolved elements may vary between wells, depths and production periods.
- technology risk -d irect lithium extraction and other selective recovery technologies depend strongly on brine composition, competing ions, temperature, scaling potential and required product purity.
- market risk, because project economics become exposed to commodity price fluctuations and potential changes in demand for critical raw materials.
- chemical and environmental risk, associated with additional treatment stages, reagents, waste streams and reinjection requirements.

Therefore, critical raw material recovery should be treated as an additional project opportunity rather than incorporated into the base-case economics without appropriate sensitivity and risk analysis.

Risk mitigation strategy

Risk mitigation should correspond to both the nature of uncertainty and the stage of project development. For geological risks, the primary measures include additional geological investigation, resource modelling, test drilling, reservoir testing and progressive updating of the geological model. Technical risks can be reduced through selection of proven technologies, pilot testing, detailed engineering and involvement of experienced contractors. Regulatory risks require early engagement with permitting authorities and integration of regulatory requirements into the project schedule. Financial risks should be addressed through contingency budgeting, sensitivity analysis, cost control and appropriate financing structures. Market exposure can be partly reduced through long-term sales arrangements and offtake agreements, particularly where mineral co-products are planned. Environmental and social risks require continuous environmental monitoring, transparent stakeholder engagement and integration of community considerations into project planning. Particular attention should be given to risks that cannot be fully controlled. For external and mixed risks, the objective of risk management is not necessarily elimination but reduction of exposure through better information, contractual risk allocation, insurance, financial reserves and adaptive project design.

Risk Assessment Results. The risk assessment of the Solotvyno geothermal project identified more than 100 potential risk factors. Following screening and prioritization, 50 risks were classified as significant, while more than 20 priority risks were included in the detailed risk matrix. The identified risks were grouped into seven main categories: geological, technical, environmental, regulatory, financial, social, and operational. The detailed risk register links each risk to its type, project phase or milestone, risk level, expected impact, mitigation measures, and acceptable outcome. This structure makes it possible not only to rank uncertainties according to their significance but also to connect each major risk with a specific management response. The highest-priority risks identified at the early stages of the project are mainly related to geological uncertainty and drilling performance, whereas operational risks become increasingly important during project implementation.

Table 1

Example of the priority risk register for the Solotvyno geothermal project

No.	*Type*	*Project phase / milestone*	*Risk*	*Level*	*Impact on*	*Mitigation measures*	*Acceptable outcome*
1	External	Geological exploration	Insufficient temperature potential	High	Project economics	Additional studies, test drilling	Resource meets target parameters
2	External	Geological model	Low well productivity	High	Plant capacity	Backup wells	Stable flow rate per feasibility study
3	External	Geological model	Geological heterogeneity	Medium	Production stability	3D modelling	Predictable reservoir behaviour
4	Internal	Drilling	Drilling complications	High	Schedule and budget	Experienced contractors	Drilling completed without incidents
5	Internal	Operation	Equipment failure	Medium	Operational continuity	Backup systems	Continuous system operation
6	Internal	Operation	Corrosion and scaling	Medium	Equipment lifetime	Anti-corrosion materials	Normal operation within planned lifetime

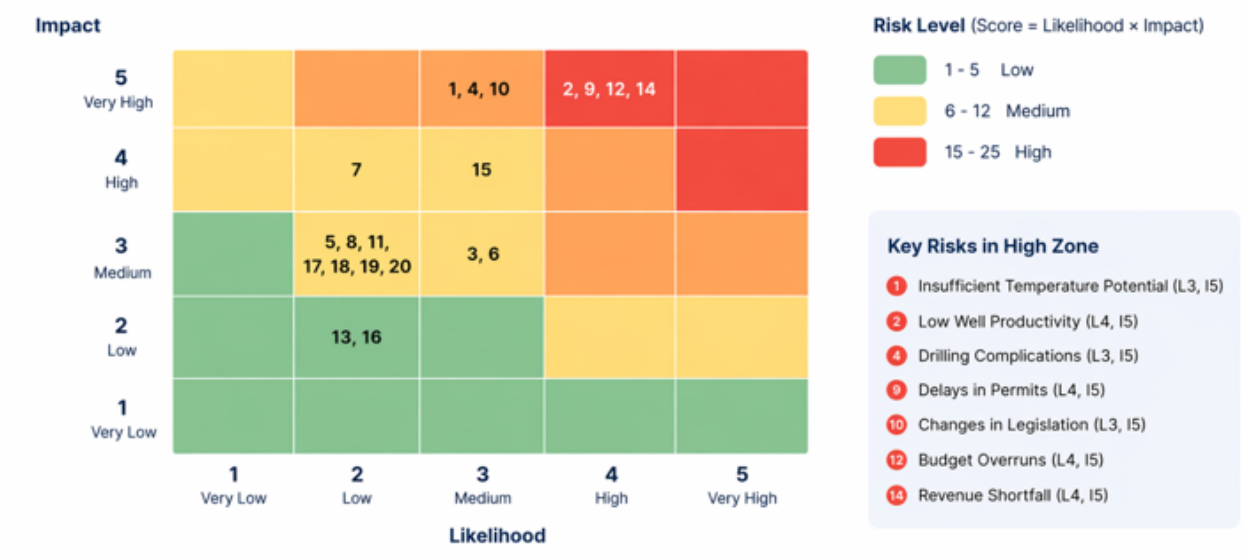


Fig. 1. Part of Risk Matrix

Discussion. The results demonstrate that geothermal project risk cannot be adequately represented by a single risk indicator. Instead, the risk structure changes as the project progresses and new information becomes available.

Early-stage decision-making is dominated by uncertainty in subsurface parameters. Therefore, investment in additional geological information can have substantial value because it may prevent premature commitment of large capital expenditures.

At later stages, project management increasingly focuses on execution reliability, cost and schedule control. Consequently, the risk management system should evolve together with the technical maturity of the project. Another important conclusion is that a significant proportion of geothermal project risks remain external to direct management control. According to the Solotvyno assessment, approximately 60–70% of key risks may be classified as external or partially controllable. This reinforces the importance of scenario analysis and adaptive decision-making rather than reliance exclusively on deterministic technical-economic models. Integration of critical raw material recovery provides additional economic upside, but it should be assessed separately because it introduces a new group of technological, processing and market uncertainties.

Conclusions. A structured risk assessment framework is an essential component of geothermal project evaluation and investment decision-making. The proposed methodology combines identification of risk categories, likelihood-impact scoring, classification according to controllability, life-cycle analysis and development of project-specific mitigation measures.

The Solotvyno case study demonstrates that geological is the dominant risk during exploration, while regulatory and financial uncertainties become increasingly important during project development. Construction is primarily exposed to cost, contractor and technical risks, whereas operational stages are characterized by equipment reliability, revenue stability and environmental compliance. The incorporation of critical raw material recovery from geothermal brines can improve the overall project value proposition but simultaneously increases technological complexity and exposure to commodity markets.

The most effective risk management strategy is therefore based on progressive reduction of uncertainty through geological validation, test drilling, pilot studies, early permitting engagement, contingency budgeting, environmental monitoring and stakeholder management. The proposed framework provides a practical basis for integrating uncertainty directly into technical-economic evaluation of geothermal projects and supports more robust decision-making throughout their life cycle.

Acknowledgement. The study is related to the broader research and cooperation context of the Geothermal Ukraine – Empowering Change for Good: Making Difference in Technology for Rapid Deployment project, aimed at supporting geothermal energy development for sustainable recovery and energy security in Ukraine *https://innovateukraine.io/case_study/geothermal-ukraine-empowering-change-for-good-through-geothermal-energy/* .

References

Gambini, R., Waters, D. W., Sansone, F., & Memmo, V. (2025). Risk and uncertainty in geothermal projects: Characteristics, challenges and application of the novel reverse enthalpy methodology. *Energies, 18*(15), 4157. https://doi.org/10.3390/en18154157

International Electrotechnical Commission. (2019). *Risk management - Risk assessment techniques* (IEC 31010:2019). https://www.iso.org/standard/72140.html

International Organization for Standardization. (2018). *Risk management - Guidelines* (ISO 31000:2018). https://www.iso.org/standard/65694.html

Kassem, M. A., Moscariello, A., & Hollmuller, P. (2025). Navigating risk in geothermal energy projects: A systematic literature review. *Energy Reports, 13*, 696–712. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2024.12.052

Liu, W., & Ramirez, A. (2017). State of the art review of the environmental assessment and risks of underground geo-energy resources exploitation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 76*, 628–644. https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.087

Sanyal, S. K., & Morrow, J. W. (2020). Geothermal resource and reserve assessment methodology: Overview, analysis and future directions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 119*, 109515. https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109515

Virshylo, I., Mishuris, G., Topór, T., Karpenko, O., & Duchuk, S. (2026, April 20–24). Solotvyno Basin geothermal field development: Regional view and monitoring issues [Conference paper]. *19th International Conference "Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment"*, Kyiv, Ukraine. https://doi.org/10.3997/2214-4609.202655170

UDC 504.06:622.32:550.8

LIFE CYCLE ASSESSMENT AS A TOOL FOR EVALUATING CCS PROJECTS: METHODOLOGY AND REGIONAL SCENARIOS

***Kurylo M.*[1]**, *Dr. Sci. (Geol.), m.kurylo@pobuzhye.com.ua;*
***Berenblyum R.*[2]**, *robe@norceresearch.no,*
***Virshylo I.*[3]**, *ivirshylo@gmail.com ;*
***Demchuk Yu.*[4]**, *y.demchuk@geothermalukraine.org,*
1 – BGV Group management, Kyiv, Ukraine,
2 – NORCE Norwegian Research Center AS, Stavanger, Norway,
3 – Taras Shevchenko National University of Kyiv, Institute of Geology, Kyiv, Ukraine,
4 – NGO Geothermal Ukraine, Ivano-Frankivsk, Ukraine

Life Cycle Assessment (LCA) provides a systematic framework for evaluating Carbon Capture and Storage/Utilisation and Storage (CCS/CCUS) projects beyond the amount of CO_2 captured or injected. The study presents an LCA methodology developed within the CTS project for comparison of alternative regional CO_2 transport and offshore geological storage configurations. The approach follows ISO 14040/14044, applies an attributional scenario-based assessment and uses 1 tonne of CO_2 permanently stored as the common functional unit. Four regional cases – Baltic Sea, Black Sea–Romania, Black Sea–Ukraine and Atlantic Coast–Portugal – are assessed through combinations of pipeline transport, conventional shipping and Direct Ship Injection (DSI). Preliminary screening results demonstrate that environmental performance depends on regional system architecture rather than transport technology alone. For the Ukrainian case, DSI reduces screening GHG intensity from 317.8 to 305.7 kg CO_2e/t CO_2 stored and increases net-abatement efficiency from 94.5% to 96.0%, while eliminating the modelled offshore pipeline and fixed marine footprint. In other regions, different trade-offs between operational emissions, material demand and infrastructure footprint are observed. The methodology is additionally extended to consider infrastructure reuse, vessel repurposing and material circularity, providing a broader basis for project-development and investment decisions.

Keywords: life cycle assessment, CCS, CO_2 transport, geological storage, Direct Ship Injection

Introduction

CCS is a one of essential elements of industrial decarbonisation strategies, particularly for sectors in which complete elimination of process related CO_2 emissions is technically difficult. The environmental effectiveness of CCS cannot be assessed solely through the quantity of CO_2 captured or injected. Capture, conditioning, transport, infrastructure construction, injection and long-term storage themselves require energy, materials and infrastructure and therefore generate additional environmental burdens (*Dudu et al., 2025; NORCE Research, 2024)*. Techno-economic analysis alone do not answer this question either.

Life Cycle Assessment LCA provides a suitable methodological framework for identifying these burdens and relating them to the climate-mitigation function delivered by a CCS system. Within the CTS project (CO_2 Transport and Storage directly from a ship: flexible and cost-effective solutions for European offshore storage), LCA is applied according to the general structure of ISO 14040 and ISO 14044: goal and scope definition, Life Cycle Inventory analysis, Life Cycle Impact Assessment and interpretation. The phases are treated iteratively, allowing assumptions, boundaries and inventories to be refined when additional project-specific information becomes available (*International Organization for Standardization, 2006; Kurylo et al., 2026*).

An important methodological principle is that LCA is not used to establish a universal environmental ranking of individual transport technologies. Instead, alternative technical configurations are compared within the same regional CCS system, where CO_2 sources, transport distances, port infrastructure, storage sites and injection conditions are comparable.

Objective and Methodological Approach

The objective of the study is to establish a transparent and reproducible framework for evaluating the environmental and resource performance of technically feasible CCS configurations and to demonstrate its application to regional CTS scenarios.

The assessment follows the four ISO 14040/14044 stages: goal and scope definition, Life Cycle Inventory, Life Cycle Impact Assessment and interpretation. It is primarily an

attributional, scenario-based LCA, using project specific technical parameters from the CTS techno-economic scenarios. The system boundary follows a cradle-to-grave approach covering capture and conditioning, collection and handling, transport, injection and geological storage, infrastructure construction, operation, maintenance and, where data are available, decommissioning.

The common functional unit is 1 tonne of CO_2 permanently stored in the designated geological storage formation. Two calculation levels are distinguished: the full CCS chain and the transport/injection/storage subsystem. This distinction is important because capture may dominate total energy consumption and GHG (Greenhouse Gas) emissions while remaining identical between alternative transport configurations. Core indicators include GHG intensity, energy intensity, pipeline steel intensity, land occupation, marine infrastructure footprint, net-abatement efficiency and a supplementary infrastructure-intensity score.

The principal indicators selected for the comparative assessment are:

- GHG intensity, kg CO_2e/t CO_2 stored. This indicator expresses the greenhouse-gas emissions generated throughout the assessed CCS chain per tonne of CO_2 permanently stored.
- Energy intensity, MJ/t CO_2 stored. The indicator captures energy used for capture, conditioning, compression, pumping, liquefaction, ship operation, reconditioning and injection.
- Steel intensity, kg steel/t CO_2 stored. Steel demand is used as a practical indicator of material and infrastructure intensity, particularly for pipeline networks, ships and offshore facilities.
- Land occupation, m^2·year/t CO_2 stored. This indicator characterises the terrestrial footprint associated with pipelines, compressor stations, ports, intermediate hubs and other fixed infrastructure.
- Marine infrastructure footprint, m^2·year/t CO_2 stored. The indicator reflects offshore pipelines, receiving platforms and other fixed marine infrastructure.
- Net-abatement efficiency, %. It shows what proportion of the theoretical climate benefit remains after accounting for additional emissions associated with operation of the CCS chain.

A supplementary infrastructure-intensity indicator is also used to represent physical differences that may not be fully captured through GHG or energy metrics alone. It is treated as a project-specific screening metric rather than as a standard ISO LCIA category.

Regional Scenarios and Preliminary LCA Results for the Ukranian one

The CTS assessment covers four regional systems and nine technical scenarios: SHIP (Conventional ship transport scenario) -DSI (Direct Ship Injection) for the Baltic Sea; PIPE (Pipeline transport scenario) -SHIP-DSI for Black Sea-Romania; SHIP-DSI for Black Sea-Ukraine; and PIPE-DSI/hybrid for Atlantic Coast-Portugal. The scenarios are compared within each region, rather than ranked across regions, because their CO_2 sources, transport distances, collection systems, ports and storage infrastructure differ substantially (*Dudu et al., 2025; NORCE Research, 2024)*.

Preliminary screening calculations demonstrate that no single transport configuration provides the same environmental advantage under all regional conditions.

For the Black Sea-Ukraine case, the most pronounced effect results from changing the offshore storage architecture. SHIP and DSI have the same calculated energy intensity of 3,486 MJ/t CO_2 stored, but DSI reduces downstream GHG emissions from 45.4 to 33.3 kg CO_2e/t stored and total screening GHG intensity from 317.8 to 305.7 kg CO_2e/t stored. Net-abatement efficiency consequently increases from 94.5% to 96.0%. The physical infrastructure difference is even more significant. The conventional SHIP configuration includes approximately 55 km of offshore pipeline and about 6,389 t of estimated pipeline steel, whereas these components are absent from the assessed DSI configuration. The corresponding infrastructure score decreases from 47.5 to 19.2. The calculated marine footprint decreases from 0.131 to 0.000 m^2·year/t CO_2,

while modelled land occupation remains unchanged at 0.009 m²·year/t CO_2. In both Ukrainian configurations, the screening model assigns 230 kg CO_2e/t to capture and 39.6 kg CO_2e/t to compression; the principal difference appears in transport and injection emissions: 45.4 kg CO_2e/t for SHIP versus 33.3 kg CO_2e/t for DSI. Thus, presenting only full-chain totals can conceal the actual environmental effect of downstream configuration changes.

These results confirm that LCA should identify environmental trade-offs, rather than seek a universal ranking of PIPE, SHIP or DSI.

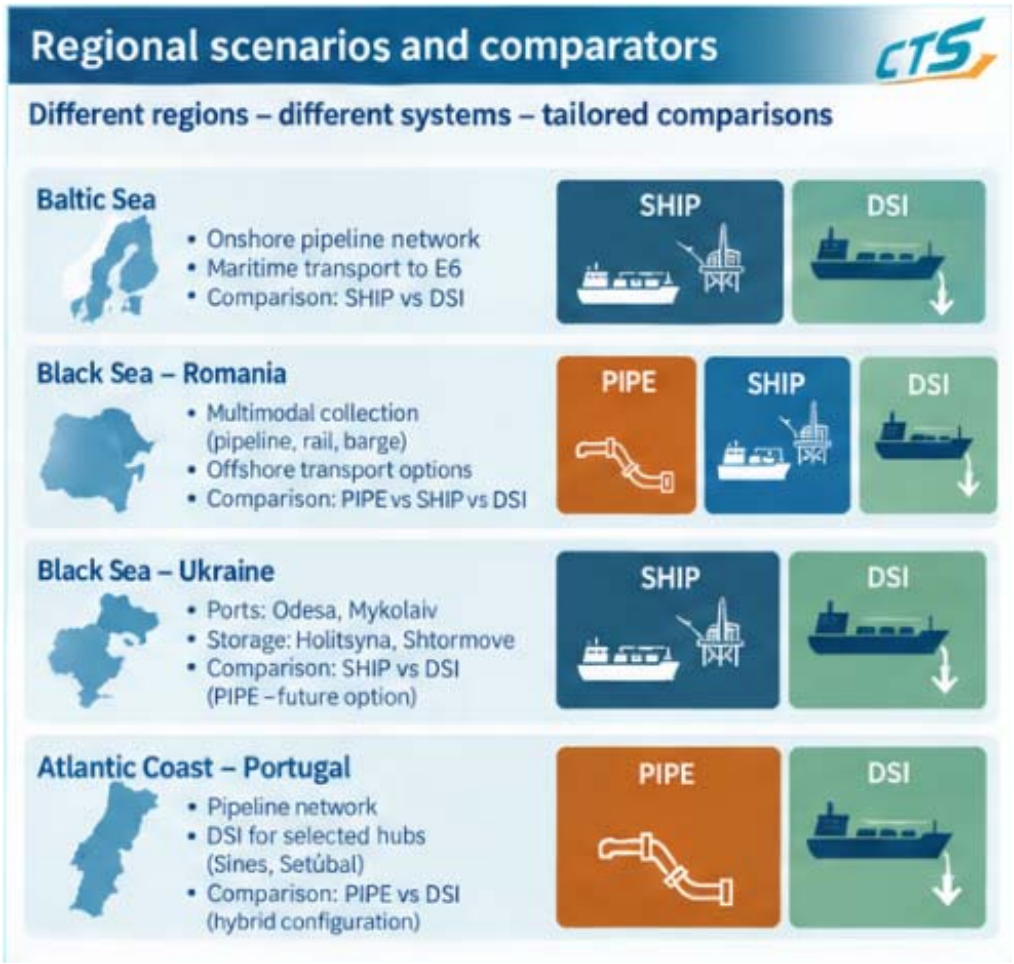


Рис. 1. Regional CCS scenarios and comparative transport and storage configurations in the CTS project

Extended System Boundary and Circularity

For project development applications, the core LCA can be supplemented by an extended system boundary: 1)previous asset life; 2) CCS project life; 3) second life / reuse / recycling. This extension is particularly relevant where depleted hydrocarbon fields, existing wells, offshore platforms, pipelines, ports or vessels can be reused or repurposed. The assessment should distinguish new infrastructure from assets that can be directly reused, refurbished or replaced and can quantify the avoided construction, material and environmental burdens associated with reuse.

A second important pathway concerns conversion of existing vessels into CO_2 transport or DSI ships. From the life-cycle perspective, retrofitting can reduce the embodied infrastructure burden because part of the vessel structure and materials already exists, although the environmental benefit depends on remaining useful life and the scale of required modification.

The extended assessment may additionally consider reuse, refurbishment and recycling of steel, alloys, electrical equipment, pumps, compressors, pressure vessels, subsea equipment and structural modules. These circularity elements are recommended as supplementary scenarios,

rather than part of the default core LCA, to preserve comparability of the principal regional results.

Discussion

The preliminary results demonstrate that the environmental performance of CCS is determined by the interaction of operational emissions, energy consumption and infrastructure configuration. A configuration with lower operational emissions may require more pipelines, steel or fixed offshore infrastructure, while an alternative with somewhat greater operational energy demand may reduce permanent infrastructure and associated land or marine footprint.

This is particularly important at early project stages, when decisions regarding PIPE, SHIP, DSI, infrastructure reuse and phased development are still flexible. LCA can therefore be integrated with techno-economic assessment not only as an environmental reporting procedure, but as a tool for scenario selection, infrastructure optimisation and project development.

Conclusions

Life Cycle Assessment provides a structured basis for evaluating CCS systems beyond the nominal quantity of CO_2 stored. The use of a common functional unit and two calculation levels makes it possible to reveal environmental effects that may otherwise be masked by the dominant capture stage.

Preliminary CTS results confirm that regional architecture is decisive. In the Ukrainian case, DSI reduces GHG intensity, pipeline steel requirements, infrastructure intensity and marine footprint relative to the conventional SHIP configuration. The Romanian and Portuguese cases demonstrate different trade-offs, confirming that conclusions cannot be transferred automatically between regions.

Extending the conventional LCA boundary to include reuse of depleted fields, repurposing of vessels and infrastructure, and circular recovery of materials further strengthens the methodology for long-term CCS project planning.

Acknowledgement

The study was prepared within the framework of the CTS project - "CO_2 Transport and Storage directly from a ship: flexible and cost-effective solutions for European offshore storage", coordinated by NORCE. This research was funded by CETPartnership, the Clean Energy Transition Partnership under the 2022 CETPartnership joint call for research proposals, co-funded by the European Commission (GA N°101069750) and with the funding organizations detailed on https://cetpartnership.eu/funding-agencies-and-call-modules." The author gratefully acknowledges the CTS project partners for the development of the regional CCS scenarios, techno-economic assessments and input data used in the LCA methodology.

References

Dudu, A.-C., Demchuk, Y., Virshylo, I., Kurylo, M., Berenblyum, R., Nermoen, A., Iordache, G., Dragoș, A.-G., Sava, C.-Ș., Avram, C., Stelea, L., Anghel, S., Bratakh, M., & Melnyk, L. (2025). CTS Project: CO_2 transport and storage solutions in the Black Sea. *Advances in Carbon Capture Utilization and Storage, 3*(1). https://doi.org/10.21595/accus.2024.24736 Extrica

International Organization for Standardization. (2006a). *Environmental management — Life cycle assessment - Principles and framework* (ISO Standard No. 14040:2006). https://www.iso.org/standard/37456.html

International Organization for Standardization. (2006b). *Environmental management — Life cycle assessment - Requirements and guidelines* (ISO Standard No. 14044:2006). https://www.iso.org/standard/38498.html

Kurylo, M., Berenblyum, R., Virshylo, I., & Demchuk, Y. (2026). *Life Cycle Assessment Methodology for CCS Project Evaluation* [Conference paper]. 19th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment. https://doi.org/10.3997/2214-4609.202655174

NORCE Research. (n.d.). *CO_2 transport and storage directly from a ship: Flexible and cost-effective solutions for European offshore storage (CTS).* https://www.norceresearch.no/en/projects/co2-transport-and-storage-directly-from-a-ship-flexible-and-cost-effective-solutions-for-european-offshore-storage-cts

ГЕНЕРАЛЬНІ ПАРТНЕРИ

ЗА ПІДТРИМКИ

ІНФОРМАЦІЙНИЙ ПАРТНЕР

ВОДНИЙ ПАРТНЕР

conf.dkz.gov.ua

conf@dkz.gov.ua