

**Тези доповідей  
Міжнародної наукової конференції**

**«АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ  
ГЕОЛОГІЇ І ГЕОХІМІЇ ГОРЮЧИХ КОПАЛИН»**

**(до 75-річчя Інституту геології і геохімії  
горючих копалин НАН України)**

*29 вересня – 01 жовтня 2026 року*



**Сучасні уявлення  
про будову та еволюцію літосфери Землі**

---

УДК [552.57: 535.3]: 550.36 (477)

**ПАЛЕОГЕОТЕРМІЧНІ РЕКОНСТРУКЦІЇ  
ЗА ДАНИМИ ВІТРИНІТОВОЇ ТЕРМОМЕТРІЇ  
(НА ПРИКЛАДІ КАМ'ЯНОВУГІЛЬНИХ ВІДКЛАДІВ  
ЛЬВІВСЬКОГО ПАЛЕОЗОЙСЬКОГО ПРОГИНУ)**

**Аріадна ІВАНОВА<sup>a</sup>, Віктор ГАВРИЛЬЦЕВ<sup>b</sup>**

Інститут геологічних наук НАН України, Київ, Україна

<sup>a</sup> e-mail: [ariadna.v.ivanova@gmail.com](mailto:ariadna.v.ivanova@gmail.com); <https://orcid.org/0000-0001-6540-5605>

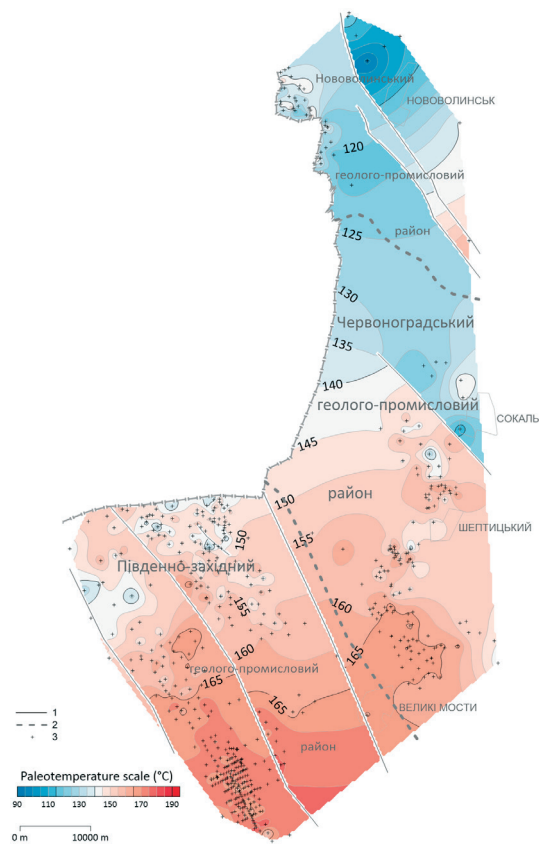
<sup>b</sup> e-mail: [gavriltssev@gmail.com](mailto:gavriltssev@gmail.com); <https://orcid.org/0000-0002-4234-2282>

**PALEOGEOTHERMAL RECONSTRUCTIONS  
BASED ON VITRINITE THERMOMETRY DATA  
(USING THE EXAMPLE OF CARBONIFEROUS DEPOSITS  
OF THE LVIV PALEOZOIC TROUGH)**

**Ariadna IVANOVA<sup>a</sup>, Viktor GAVRYLTSEV<sup>b</sup>**

Institute of Geological Sciences of the NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

За даними вітринітової термометрії проведені палеогеотермічні реконструкції, метою яких є визначення та аналіз розподілу по площі палеотемператур осадового чохла пізньопалеозойського етапу розвитку Львівського палеозойського прогину. Для реконструкції палеогеотермічних обстановок було запропоновано методику визначення палеогеотермічних показників, засновану на прийнятті провідної ролі температури на процес вуглефікації та лінійної залежності температури від глибини. На відміну від попередніх методик, які представлені у вигляді єдиної сталої шкали метаморфізму досліджуваного регіону, побудованої методом нарощування розрізу у міру збільшення ступеню метаморфізму, запропонована методика оброблення даних вітринітової термометрії не обмежена умовою сталості палеогеотермічного режиму в межах території дослідження та пов'язаними з цим недоліками. Передбачений спочатку графоаналітичний спосіб визначення палеогеотермічних параметрів пізніше був замінений відповідним програмним алгоритмом. Палеотемператури визначалися по шкалі показників відбиття вітриніту, які відповідали сучасним температурам в областях сучасного переважаючого прогинання (Іванова, 1992; Іванова & Гаврильцев, 2010). В результаті була побудована карта палеотемператур кам'яновугільних відкладів на сучасному зрізі –500 м (рисунок). Невеликі потужності випробуваної вугленосної товщі Львівсько-Волинського басейну, що не перевищують 0,63 км, та брак репрезентативних (у повному діапазоні розрізу) визначень показників відбиття вітриніту по більшості свердловин не дозволяють з достатньою впевненістю обраховувати значення палеогеотермічних



Карта палеотемператур кам'яновугільних відкладів на зрізі –500 м:  
1 – розривні порушення; 2 – границі геолого-промислових районів; 3 – свердловини

градієнтів. Відносно стійкі і статистично достовірні дані зібрано лише по поодиноким свердловинах. Розподіл палеогеотермічних параметрів свідчить про наступне.

*Нововолинський* геолого-промисловий район характеризується палеотемпературами від 90 до 130 °С. У західній і східній частинах району вони збільшуються до 150–160 °С. Палеогеотермічні градієнти сягають від 4,7–9,3 °С/100 м для західної частини району до 13,9 °С/100 м в східній (св. Литовеж-1). Такі показники є аномальними з точки зору закономірностей розподілу по площі басейну і можуть свідчити про наявність тут проявів пізньопалеозойського вулканізму та викликаного ним режиму верхньокорового розігріву.

*Червоноградський* район характеризується палеотемпературами від 120–130 °С у межах Забузького родовища до 150–165 °С на території Міжріченського. Палеогеотермічні градієнти складають 3,6–4,8 °С/100 м.

В *Південно-Західному* районі палеотемператури коливаються від 150 до 175 °С (в межах Тягівського і Любельського родовищ). Палеогеотермічні градієнти складають 3,2–6,6 °С/100 м.

В межах Міжріченського, Тягівського та Любельського родовищ на тлі палеотемператур 150–155 °С зустрічаються низькотемпературні геотермічні аномалії (до 135 °С), які можуть бути пов'язані з низхідним рухом потоків фільтраційних вод.

Поодинокі прояви аномальних ділянок з нульовими та від'ємними значеннями палеогеотермічних градієнтів зафіксовані в усіх геолого-промислових районах, проте найбільші скупчення припадають на поля шахт Великомоствіські 4, 6 та Червоноградські 2, 5, 6, що можливо пов'язано із підвищеною проникністю розрізу та дією висхідних потоків гідротермальних розчинів по розломах за механізмом конвективного переносу тепла.

Розподіл палеотемператур свідчить про їх зростання з півночі на південь в напрямку Пракарпат, які активізувалися під час бретонської та астурійської фаз складчастості на герцинському етапі тектогенезу. Є підстави вважати, що за рівнем геодинамічної та геотермічної активності в період формування палеозойського осадового чохла Львівський палеозойський прогин в цілому характеризувався гіпертермальним геотермічним режимом (Robert, 1985).

Иванова, А. В. (1992). Методика обработки данных витринитовой термометрии для проведения палеогеотермических и палеотектонических реконструкций. *Геологический журнал*, 6, 32–36.

Иванова, А. В., & Гаврильцев, В. Б. (2010). Методика обробки даних вітринітової термометрії. *Авторське право і суміжні права*: офіц. бюл., 21, 200.

Robert, P. (1985). *Histoire géothermique et diagenèse organique* (Mémoire No. 8). Pau, Bulletin des Centres de Recherches Exploration-Production Elf-Aquitaine.

УДК 550.93

## **SIMS ВІК ЧАРНОКІТІВ ПЕРВОМАЙСЬКОЇ СТРУКТУРИ ГОЛОВАНІВСЬКОЇ ШОВНОЇ ЗОНИ**

**Ірина ЛІСНА<sup>a</sup>, Леонід ШУМЛЯНСЬКИЙ,  
Олександр ПОНОМАРЕНКО, Олег КИЩУК, Людмила СЬОМКА**

Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення  
ім. М. П. Семененка НАН України, Київ, Україна  
<sup>a</sup> e-mail: lesirmich@ukr.net

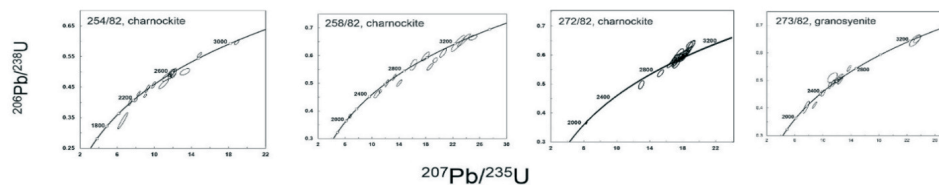
## **SIMS AGE OF THE CHARNOCKITES OF THE PERVOMAIISK STRUCTURE OF THE GOLOVANIVSK SUTURE ZONE**

**Iryna LISNA<sup>a</sup>, Leonid SHUMLYANSKY,  
Oleksandr PONOMARENKO, Oleh KYSHCHUK, Lyudmyla SYOMKA**

M. P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation  
of the NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Об'єктом дослідження є чарнокітоїди Первомайської глибової структури, яка знаходиться у східній частині Голованівської шовної зони (Ярошук, 1965). Глибові грануліто-гнейсові структури більшістю дослідників розглядаються як такі, що виникли внаслідок «випирання жорстких масивів гранулітів у вміщуючі пластичні породи» (Салоп, 1982).

**Мета дослідження** – встановити вік чарнокітоїдів Первомайської глибової структури за результатами уран-свинцевого ізотопного датування цирконів методом LA-ICP-MS. Були продатовані циркони із чарнокітоїдів трьох



Уран-свинцева ізохрона з конкордією для цирконів із чарнокітоїдів Первомайської структури, відібраних у діючому (проба 254/82) і покинутому (проба 258/82) кар'єрах біля м. Первомайськ, і два зразки чарнокітоїдів із кар'єру в с. Болеславчик: сірого кольору (проба 272/82) і рожевого (проба 273/82)

кар'єрів, розкритих долиною р. Південний Буг: два – у районі м. Первомайська: діючого Молдовського кар'єру (254/82) і закинутого кар'єру (258/82), який знаходиться приблизно в кілометрі від Молдовського, і два зразки із кар'єру в с. Болеславчик (272/82) і (273/82).

Ізотопний вік цирконів визначали в ізотопній лабораторії Триніті-коледжу (*Trinity College*) в м. Дублін, Ірландія. Використовували лазерну абляційну систему *Photon Machines Analyte Excite* 193 нм ArF, з'єднану з мас-спектрометром *Agilent 7900*. Під час визначення ізотопного віку циркону розмір лазерного пучка становив 24 мкм.

**Результати досліджень.** Діючий Молдовський кар'єр (зразок 254/82), представлений лейкочарнокітом, з шарами рожевих дрібнозернистих апліт-пегматоїдних гранітів. Мінеральний склад, об. %: плагіоклаз – 20, калішпат – 40, кварц – 30, біотит – 9, гіперстен – 1, завжди присутні ільменіт, магнетит, циркон, апатит, монацит. Циркони представлені тетрагональними подовжено-призматичними кристалами цирконового типу, від світло- до темно-коричневого кольору. Переважають внутрішньо однорідні зерна, часто з тонкими облямівками. Значна кількість цирконів утворює скупчення з конкордантним віком у  $2595 \pm 18$  млн років. Найдавніший циркон має вік за відношенням  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  у  $3039 \pm 15$  млн років (рисунок). На загал, більшість з датованих цирконів має конкордантні або близькі до них віки від 3039 до  $2140 \pm 29$  млн років.

В закинутому кар'єрі, який знаходиться поряд із діючим, спостерігається інша ситуація. Тут переважають меланократові двопіроксенові кристалосланці, піроксенові гнейси, а чарнокітоїди представлені чарноендербітами і чарнокітами. Мінеральний склад середньозернистих чарнокітоїдів (проба 258/82), об. %: плагіоклаз – 35, калішпат – 35, кварц – 20, гіперстен – 10. Переважна маса циркону (70 %) представлена подовжено-призматичними тетрагональними та дитетрагональними кристалами гіацинтового типу з  $K_{\text{вид}} = 2 - 2,5$ , коричневого кольору до темно-коричневого в великих зернах, іноді з оболонками накладеного циркону. Методом LA-ICP-MS продатовані коричневі однорідні циркони із чарнокіта (проба 258/82). Декілька кристалів циркону виявилися дещо давнішими за 3200 млн років (середній вік за двома аналізами за відношенням  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  становить  $3229 \pm 13$  млн років). Два наймолодших кристали циркону в цій породі мають конкордантний вік у  $2079 \pm 28$  млн років (див. рисунок). Решта результатів, в більшості конкордантні, розподілені по конкордії між зазначеними вище найдавнішим і наймолодшим віками (див. рисунок).

В кар'єрі в с. Болеславчик, який знаходиться в східній частині Первомайської брили, переважають чарнокітоїди і червоно-рожеві граніти, з чіткими контактами. Породи в основному розсланцьовані різною мірою, часто мають вигляд тонкосмугастих мігматитів, хоча у відвалах зустрічаються і самостійні брили сірих чарнокітоїдів та червоно-рожевих гранітів, з яких відібрані проби, відповідно 272/82 та 273/82.

Проба 272/82 — чарнокіт. Мінеральний склад, об. %: плагіоклаз — 30, калішпат — 30, кварц — 20, (гіперстен + діопсид) — 10, біотит — 5, ільменіт, акцесорні мінерали — циркон, апатит, монацит. Циркон представлений тетрагонально-призматичними кристалами з  $K_v = 2,5$ , іноді 3,5, з тупою пірамідкою темно-коричневого кольору. Абсолютна більшість результатів U-Pb датування, отриманих для цих цирконів, має вік за верхнім перетином конкордії у  $2952 \pm 17$  млн років (див. рисунок). Облямівки навколо цих цирконів мають палеопротерозойський вік —  $2039 \pm 16$  млн років.

Проба 273/82 — дрібнозернистий, червоно-рожевий лейкократовий апліт-пегматоїдний граніт катаклазований, представлений скупченням дрібних зерен кварцу, плагіоклазу, калішпату. За хімічним аналізом граносієніт. Мінеральний склад, об. %: плагіоклаз — 20, калішпат — 40, кварц — 25, рудний — 5, поодинокі зерна гіперстену, діопсиду, біотиту, з акцесорних мінералів — циркон, апатит. Циркон — темно-коричневий, подовжено-округлий, прозорий, однорідний, зі скляним блиском, з  $K_{\text{вид}} = 1,5-2,0$ . Найдавніші дати в цій породі отримані для двох кристалів циркону з конкордантним віком у  $3247 \pm 7$  млн років (див. рисунок). Переважна більшість цирконів має конкордантний вік зі значним скупченням в районі 2600 млн років.

Отримані геохронологічні дані щодо віку чарнокітоїдів Первомайської глибової структури підтверджують її складну історію формування. Переважна більшість цирконів із чарнокітоїдів Первомайської глиби має конкордантні або близькі до конкордантних віки від 2600 до 2950 млн років — головний період формування континентальної кори. Наявність метаморфічних оболонок віком близько 2000 млн років на деяких цирконах вказує на час остаточного формування Голованівської шовної зони. В чарнокітоїдах виявлені циркони, дещо давніші за 3200 млн років. Цей вік або відповідає початковій магматичній кристалізації цих порід, або ж він відображає вік протоліту, за рахунок плавлення якого утворювалися вихідні розплави для чарнокітоїдів. Присутність таких порід на сучасному ерозійному зрізі поруч із молодшими або менш метаморфізованими породами ГШЗ, ймовірно, можна розглядати як результат вертикальної екструзії глибинної речовини під впливом горизонтального стиснення (Гінтов та ін., 2020) і трансмагматичних флюїдів.

Гінтов, О. Б., Єнті́н, В. А., Мичак, С. В., & Фарфуляк, Л. В. (2020). Побузький гірничорудний район Українського щита. Структурно-петрофізична карта кристалічного фундаменту та деякі питання геології раннього докембрію. *Геофізичний журнал*, 42(3), 16–46. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v42i3.2020.204699>  
Салоп, Л. И. (1982). *Геологическое развитие Земли в докембрии*. Ленинград: Недра.  
Ярошук, Э. Я. (1965). *Геохронология докембрия Украины* (с. 69–83). Киев.

**ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ  
ЦИФРОВОЇ ГЕОЛОГІЧНОЇ МОДЕЛІ РОДОВИЩА НАФТИ І ГАЗУ  
ЗА АРХІВНИМИ ГЕОЛОГО-ГЕОФІЗИЧНИМИ ДАНИМИ**

**Ірина МИХАЙЛІВ<sup>1</sup>, Тетяна ШИМАНОВСЬКА<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,  
Івано-Франківськ, Україна

e-mail: iryna.mykhailiv@nung.edu.ua; <https://orcid.org/0000-0003-4363-9974>

<sup>2</sup> Український науково-дослідний інститут природних газів

АТ «Укргазвидобування», Харків, Україна

e-mail: shimanovskaya.tatyan@ugv.com.ua; <https://orcid.org/0009-0004-2462-5627>

**FEATURES OF CONSTRUCTING  
A DIGITAL GEOLOGICAL MODEL OF OIL AND GAS FIELD  
BASED ON ARCHIVED GEOLOGICAL AND GEOPHYSICAL DATA**

**Iryna MYKHAILIV<sup>1</sup>, Tetiana SHIMANOVSKA<sup>2</sup>**

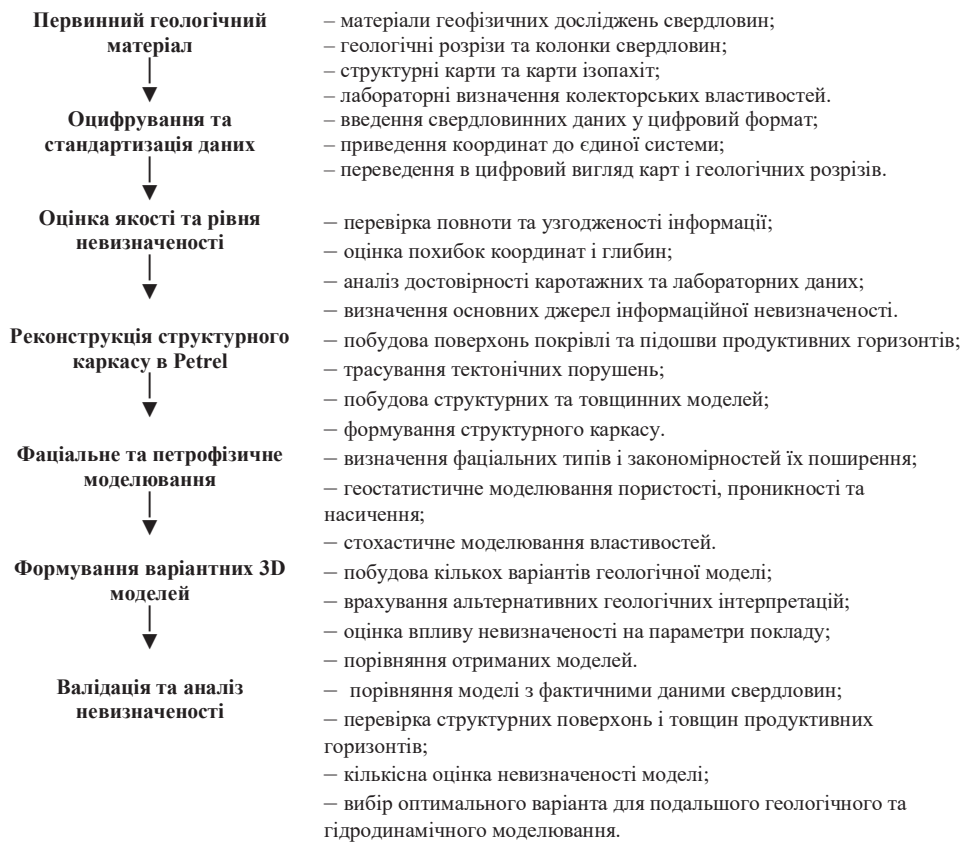
<sup>1</sup> Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,  
Ivano-Frankivsk, Ukraine

<sup>2</sup> Ukrainian Research Institute of Natural Gases,  
JSC Ukgasvydobuvannya, Kharkiv, Ukraine

Цифрове моделювання геологічної будови є одним із основних етапів сучасного супроводу розробки родовищ нафти і газу, оскільки дозволяє опрацьовувати різні геолого-геофізичні дані та створювати просторові моделі будови покладів. З цією метою застосовується Petrel Subsurface Software від компанії SLB (Schlumberger) – спеціалізований програмний комплекс, який дозволяє виконувати роботи від інтерпретації сейсмічних даних і 3D-структурного моделювання до гідродинамічного моделювання родовищ. Відповідно, для коректного створення геологічних моделей вихідна інформація повинна відповідати певним вимогам, щодо наявності, актуальності та узгодженості усіх необхідних геологічних, геофізичних і свердловинних даних; використання єдиної системи координат і одиниць вимірювання; сумісності форматів представлення результатів тощо. Водночас, для значної кількості родовищ, відкриття і розбурювання яких проводилось у другій половині XX століття, актуальним залишається питання можливості створення сучасної, у т. ч. достовірної цифрової моделі геологічної будови за матеріалами, отриманими ще у 1960–1990-х роках.

Основною проблемою використання архівної інформації є її неоднорідність за структурою, якістю та способом представлення. Первинні матеріали геологорозвідувальних робіт включають результати буріння свердловин, геофізичні дослідження, структурні карти, геологічні розрізи та лабораторні визначення колекторських властивостей. Значна частина цих матеріалів отримана за аналоговими методиками, що ускладнює їх безпосереднє використання при побудові сучасної тривимірної моделі у програмному комплексі Petrel.

Одним із ключових етапів створення геологічної моделі є підготовка та стандартизація вихідних даних (рисунок). При перенесенні архівних матеріалів у цифрове середовище виникають труднощі, пов'язані з точністю



#### Етапи побудови тривимірної геологічної моделі родовища в умовах інформаційної невизначеності

визначення координат свердловин, з різними підходами до визначення глибин, відсутністю частини первинної інформації та необхідністю повторної інтерпретації геологічних побудов. Такі фактори формують додаткову інформаційну невизначеність, яка безпосередньо впливає на результати просторового моделювання.

Особливу складність становить побудова структурного каркасу родовища. За умов обмеженої кількості свердловин та недостатньої деталізації сейсмічних матеріалів виникає невизначеність щодо положення продуктивних горизонтів, характеру їх просторового поширення та наявності можливих тектонічних порушень. У комплексі Petrel цю проблему можна вирішити шляхом побудови декількох варіантів структурних моделей, які враховують різні сценарії інтерпретації вихідних даних.

Наступним етапом є моделювання властивостей колекторів. Архівні значення пористості, проникності та насичення можуть характеризуватися нерівномірним розподілом та різною достовірністю через відмінності методик їх визначення. Для зменшення впливу цих факторів необхідне проведення статистичного аналізу, нормалізації даних між свердловинами та застосування геостатистичних методів моделювання.

Важливим елементом роботи є оцінка достовірності отриманої моделі шляхом її верифікації за фактичними даними свердловин. Аналіз відповідності

змодельованих поверхонь, товщин продуктивних горизонтів та колекторських характеристик фактичним значенням дозволяє визначити найбільш обґрунтований варіант геологічної моделі родовища.

Отже, створення цифрової геологічної моделі родовища на основі архівних матеріалів 1960–1990-х років є комплексним методичним завданням, що включає етапи цифровізації, переінтерпретації та оцінки невизначеності вихідної інформації. Використання можливостей програмного комплексу Petrel дозволяє систематизувати історичні дані, сформувати декілька варіантів просторової будови покладу та підвищити надійність подальших геологічних і технологічних прогнозів.

УДК 550.8:004.94:004.8

**ПОРІВНЯННЯ EXPLICIT ТА IMPLICIT ПІДХОДІВ  
ДО 3D-МОДЕЛЮВАННЯ НА ПРИКЛАДІ В1 ВУГІЛЬНОГО ПЛАСТА  
ДІЛЯНКИ ЛЮБЕЛЬСЬКА № 3 ПІВДЕННО-ЗАХІДНОГО РАЙОНУ  
ЛЬВІВСЬКО-ВОЛИНСЬКОГО БАСЕЙНУ**

**Нікіта ХРАМОВ**

Львівський національний університет імені Івана Франка, Львів, Україна  
e-mail: Nikita.Khramov@lnu.edu.ua; <https://orcid.org/0009-0003-9933-5520>

**COMPARISON OF EXPLICIT AND IMPLICIT APPROACHES  
TO 3D MODELING: A CASE STUDY OF THE B1 COAL SEAM  
IN THE LYUBELSKA No. 3 AREA  
OF THE SOUTHWESTERN DISTRICT  
OF THE LVIV-VOLYN COAL BASIN**

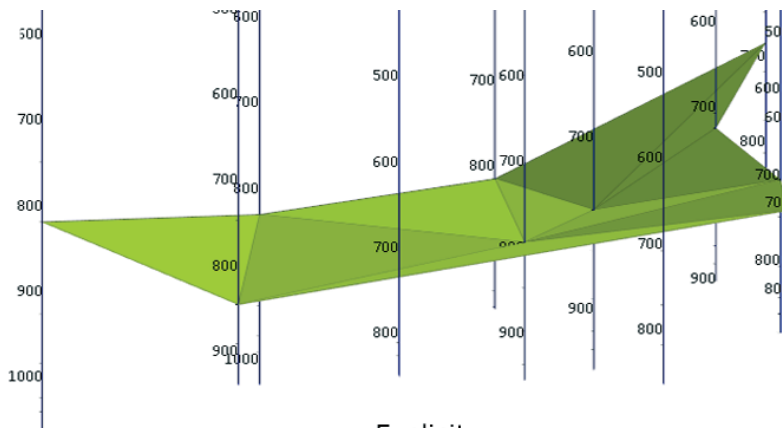
**Nikita KHRAMOV**

Ivan Franko National University of Lviv, Lviv, Ukraine

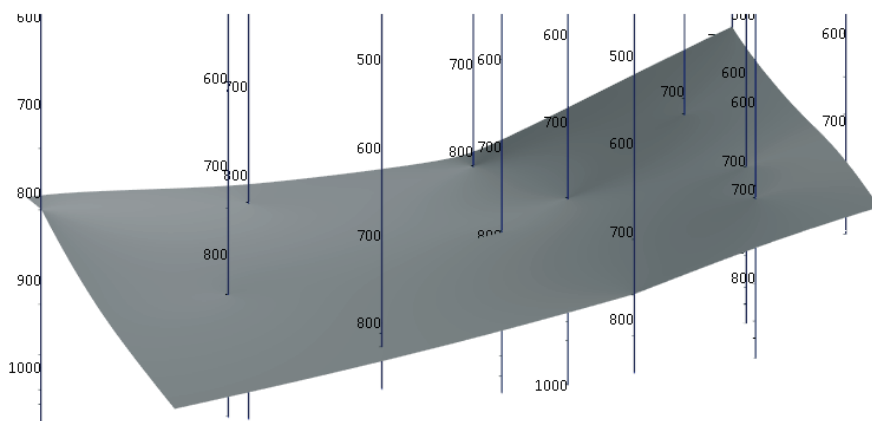
Сучасне тривимірне геологічне моделювання передбачає використання різних підходів до інтерпретації просторового розподілу геологічних тіл. Особливий інтерес становить порівняння explicit та implicit методів, які ґрунтуються на принципово відмінній концепції побудови геологічної моделі. Explicit-підхід спирається на геологічну інтерпретацію дослідника, тоді як implicit-моделювання використовує математичне відтворення просторових закономірностей, яке базується, виключно, на вхідних даних.

Метою роботи є порівняння результатів explicit та implicit 3D-моделювання вугільного пласта b1 вугленосної товщі ділянки Любельська № 3 Південно-Західного району Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну та оцінка впливу способу інтерпретації даних на кінцеву модель.

Актуальність такого порівняння визначається не лише технологічними відмінностями між двома підходами, а й фундаментальним питанням достовірності геологічної моделі. В explicit-моделюванні геолог інтерпретує поверхні між фактичними точками спостережень. При цьому рішення щодо простягання, форми та поведінки пласта ґрунтуються не тільки на безпосередніх даних, а й на загальному уявленні дослідника про геологічну будову



Explicit



Implicit

Порівняння просторової геометрії вугільного пласта b1, отриманої методами explicit та implicit моделювання

території. Такий підхід дозволяє враховувати геологічний контекст, закономірності залягання та передбачувану поведінку пласта за межами безпосередніх спостережень. Водночас результат може містити значну частку суб'єктивної інтерпретації.

На противагу цьому, implicit-підхід орієнтований на data-driven підхід у відтворенні геометрії геологічного тіла. Положення поверхні пласта визначається на основі вхідних даних із мінімальним втручанням інтерпретатора. Це підвищує відтворюваність результату та зменшує вплив суб'єктивного чинника. Проте математично узгоджена з даними поверхня не обов'язково є геологічно правильною. За недостатньої кількості точок, нерівномірного їх розподілу або невдалого вибору параметрів інтерполяції implicit-модель може формувати геометрію, яка формально відповідає даним, але суперечить відомим закономірностям геологічної будови.

Таким чином, виникає принципове питання: що має бути пріоритетним під час побудови геологічної моделі – суб'єктивна, але геологічно обґрунтована інтерпретація фахівця чи максимально відтворюваний результат, отриманий безпосередньо з даних? У першому випадку модель може краще

відображати реальну геологічну ситуацію, оскільки враховує знання, які не представлені безпосередньо у вибірці. У другому – результат є більш формалізованим і відтворюваним, проте існує ризик отримання математично коректної, але геологічно нереалістичної поверхні.

Для дослідження побудовано дві 3D-моделі пласта b1. Explicit-модель формується на основі інтерпретації даних зі свердловин дослідником, тоді як implicit-модель створюється шляхом автоматизованої інтерполяції вхідних даних.

Порівняння побудованих моделей показало, що explicit та implicit підходи відтворюють однакову тенденцію залягання пласта b1, проте суттєво відрізняються у відображенні локальної геометрії (рисунок). Explicit-модель характеризується локальними змінами поверхні, тоді як implicit-модель формує плавну безперервну геометрію за рахунок математичної інтерполяції. Важливою відмінністю implicit-моделі є сформована поверхня на ділянках, де відсутні вхідні дані. Таким чином, алгоритм фактично відтворює геометрію пласта між і за межами точок спостережень, що водночас є перевагою та потенційною причиною некоректного моделювання.

Особливу увагу доцільно приділити не визначенню «кращого» методу, а встановленню меж їхньої застосовності. Explicit- та implicit-підходи доцільно розглядати не як взаємовиключні альтернативи, а як два способи представлення однієї геологічної реальності: перший – через формалізоване геологічне знання, другий – через закономірності. Найбільш обґрунтованим може бути їх поєднання, за якого data-driven модель використовується як базовий результат, а геологічна інтерпретація – для її контролю, корекції та оцінки геологічної правдоподібності.

УДК 550.831.017:550.8.05:551.241

**РОЗЛОМНА ТЕКТОНІКА ПРИКОРДОННЯ УКРАЇНА–ПОЛЬЩА  
ЗА ГЕОФІЗИЧНИМИ ДАНИМИ**

**Сергій АНІКЕЄВ<sup>a</sup>, Валентин МАКСИМЧУК<sup>b</sup>**

Карпатське відділення Інституту геофізики ім. С. І. Субботіна НАН України,  
Львів, Україна, e-mail: cbigph.nanu@gmail.com

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0000-0002-7377-7326>; <sup>b</sup> <https://orcid.org/0000-0003-3954-6521>

**FAULT TECTONICS ALONG THE UKRAINE-POLAND BORDER  
BASED ON GEOPHYSICAL DATA**

**Sergiy ANIKEYEV<sup>a</sup>, Valentyn MAKSYMCHUK<sup>b</sup>**

Carpathian Branch of Subbotin Institute of Geophysics  
of the NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine

Для простеження глибинних розломів у прикордонні України – Польщі використано залишкові гравітаційні аномалії (радіус осереднення 20 км) південного сходу Польщі (Narkiewicz et al., 2015) та північного заходу України, а також сейсмологічні розрізи по профілях POLCRUST-01 (Польща) та СГ-1(66) (Україна). Розломи між вказаними профілями екстрапольовано за морфологією залишкових гравітаційних аномалій (рисунок).

За сейсмічними даними та залишковими гравітаційними аномаліями Tomaszów Fault простежується вздовж південно-західної межі регіонально протяжного максимуму поля сили тяжіння. Південно-східним продовженням розлому на території України є Рава-Руський розлом (Narkiewicz et al., 2015). У прикордонні південно-західною межею Люблінського басейну є Izbica-Zamość Fault, продовженням якого на території України є Рава-Руський розлом (Krzywiec et al., 2025). І за схемою (див. рисунок) ці два розломи «збігаються» у Рава-Руський розлом.

Ймовірно, що припіднятий блок (насувний комплекс?) Radom-Kraśnik (RKB, див. рисунок) межує з Рава-Руським блоком ще на території Польщі. Рава-Руський блок вирізняється заглибленням поверхні фундаменту у північно-східному напрямку від 2 до 6 км (Anikeyev & Maksymchuk, 2025). На схемі це відображено крупною залишковою від'ємною аномалією, витягнутою поміж Городоцьким та Рава-Руським розломами (див. рисунок).

На північному заході України лінія Рава-Руського розлому є південно-західною межею Львівського басейну.

Розлом Holy Cross є межею між Лісогорським та Малопольським блоками та добре простежується у гравітаційних аномаліях (Grabowska et al., 2011). У межах заходу України продовженням розлому Holy Cross, ймовірно, є Краковецько-Верховинський розлом, а продовження Janów Fault – Городоцький розлом. Зазначені розломи на території Польщі обмежують смугу інтенсивної витягнутої додатної залишкової аномалії, яка має продовження

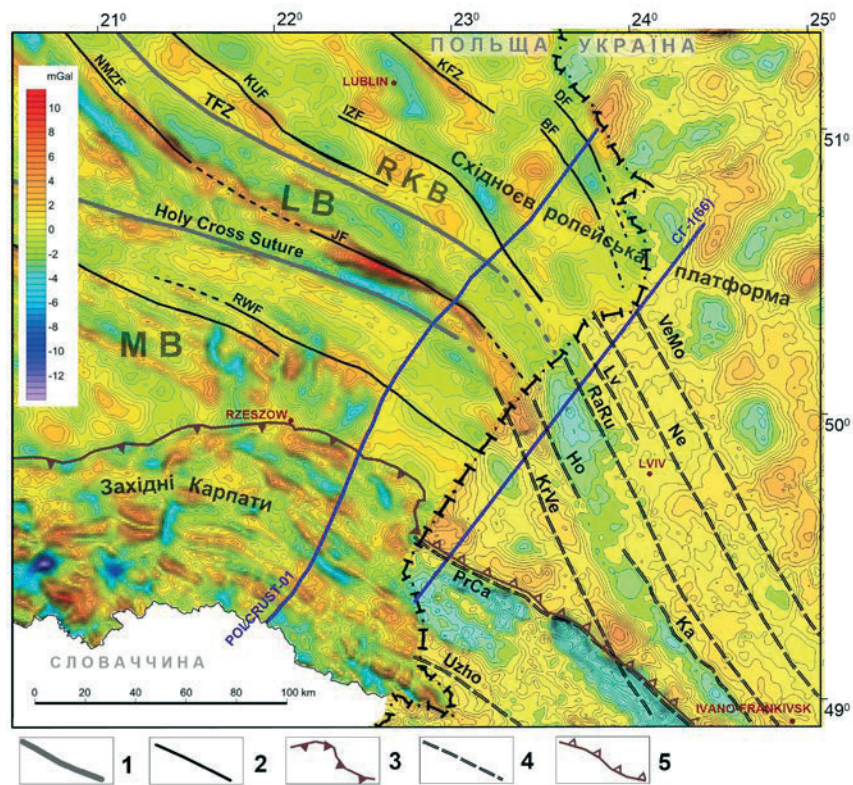


Схема основних розломів та блоків у прикордонні південно-східної Польщі та у північно-західній частині України на фоні зведених залишкових гравітаційних аномалій. Територія Польщі: 1 – зони сутур каледонського тектогенезу; 2 – розломи; 3 – фронт Карпатського насуву (Narkiewicz et al., 2015). Територія України: 4 – розломи; 5 – фронт Карпатського насуву (за Х. Б. Заяць). BF – Białopole Fault, DF – Dubienka Fault, IZF – Izbica-Zamość Fault, JF – Janów Fault, KFZ – Kock Fault Zone, KUF – Kazimierz-Ursynów Fault, NMZF – Nowe Miasto-Zawichost Fault, RWF – Ryszkowa Wola Fault, TFZ – Tomaszów Fault Zone; Uzho – Ужоцький розлом, PrCa – Передкарпатський, KrVe – Краковецько-Верховинський, Ho – Городоцький, Ka – Калуський, RaRu – Рава-Руський, Lv – Львівський, Ne – Нестерівський, VeMo – Велико-Мостівський. RKB – Radom-Kraśnik Block (Narkiewicz, 2020) або Variscan Radom-Kraśnik Thrust Stack (Krzywiec et al., 2025); LB – Лісогорський блок, MB – Малопольський блок. POLCRUST-01, CG-1(66) – сейсмічні профілі

на території України поміж Краковецько-Верховинським та Городоцьким розломами. Велико-Мостівський розлом пов'язаний з розломами Białopole Fault та Dubienka Fault (див. рисунок).

На південному сході Польщі крупна додатна Малопольська гравітаційна аномалія (Małopolska gravity high), яка чітко простежується на карті вихідного поля сили тяжіння в редукції Буге (Grabowska et al., 2011; Krzywiec et al., 2025), охоплює територію, шириною більше за 200 км, від Карпатського насуву до Kock Fault Zone. Ця аномалія своєю периферією заходить на західне прикордоння України (Anikejev & Maksymchuk, 2025). Отже, є підстави прогнозувати продовження Лісогорського та Малопольського блоків на території заходу України.

Припускаємо, що на заході України Лісогорський, Малопольський та Рава-Руський блоки є продовженням ранньопалеозойського акреційного поясу

поміж Зовнішніми Українськими Карпатами та південно-західною окраїною Східноєвропейської платформи. На території західної Європи ранньопалеозойський акреційний пояс є перехідною зоною між Західноєвропейською та Східноєвропейською платформами.

- Anikeyev, S., & Maksymchuk, V. (2025). Density model of the Earth's crust in the joint zone of the Outer Carpathians and the East European Craton along the Cisna – Khyriv – Rava-Ruska – Velyki Mosty line. *Geodynamics*, 1(38), 57–70. <https://doi.org/10.23939/jgd2025.01.057>
- Grabowska, T., Bojdys, G., Bielik, M., & Csicsay, K. (2011). Density and magnetic models of the lithosphere along CELEBRATION 2000 profile CEL01. *Acta Geophysica*, 59, 526–560. <https://doi.org/10.2478/s11600-011-0007-3>
- Krzywiec, P., Kufrasa, M., & Bubniak, I. (2025). External Variscides in South-Eastern Poland and Western Ukraine. In U. Linnemann (Ed.), *The Variscan Orogen of Central Europe. Geodynamics – Geochronology – Geobiology. Regional Geology Reviews* (pp. 261–275). Springer Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-82911-6\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-031-82911-6_10)
- Narkiewicz, M. (2020). The Variscan foreland in Poland revisited: new data and new concepts. *Geological Quarterly*, 64(2), 377–401. <https://doi.org/10.7306/gq.1511>
- Narkiewicz, M., Maksym, A., Malinowski, M., Grad, M., Guterch, A., Petecki, Z., Probulski, J., Janik, T., Majdański, M., Środa, P., Czuba, W., Gaczyński, E., & Jankowski, L. (2015). Transcurrent nature of the Teisseyre-Tornquist Zone in Central Europe: results of the POLCRUST-01 deep reflection seismic profile. *International Journal of Earth Sciences*, 104, 775–796. <https://doi.org/10.1007/s00531-014-1116-4>

УДК 551.243:551.71(477.6)

## РИФЕЙСЬКИЙ ГРАБЕН В СТРУКТУРІ ДОНБАСУ

Костянтин БЕЗРУЧКО<sup>1,a</sup>, Людмила ПИМОНЕНКО<sup>1,b</sup>,  
Наталія ВЕРГЕЛЬСЬКА<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Інститут геотехнічної механіки імені М. С. Полякова НАН України,  
Дніпро, Україна

<sup>a</sup> e-mail: bkaigtm@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-3818-5624>

<sup>b</sup> e-mail: lipimonenko@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0002-5598-6722>

<sup>2</sup> Державна установа «Науковий центр гірничої геології, геоecології та розвитку  
інфраструктури НАН України», Київ, Україна  
e-mail: NATA09@meta.ua; <https://orcid.org/0000-0002-1440-6082>

## RHIPHEAN GRABEN IN THE STRUCTURE OF THE DONBAS

Kostiantyn BEZRUCHKO<sup>1,a</sup>, Liudmyla PYMONENKO<sup>1,b</sup>, Nataliia VERGELSKA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> M. S. Poliakov Institute of Geotechnical Mechanics  
of the NAS of Ukraine, Dnipro, Ukraine

<sup>2</sup> State Institution “Scientific Center of Mining Geology, Geoecology  
and Infrastructure Development” of the NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Дотепер питання про глибинну будову та час закладення Донбасу залишається спірним. І вирішення його матиме вплив на дослідження знаходження і розповсюдження корисних копалин, які пов’язані з термодинамічними процесами фанерозою.

На початкових етапах вивчення Донецького басейну, згідно з геологічними даними, заснованими на розрахунках пропорційної зміни потужностей світ, глибина залягання фундаменту передбачалася рівною 12–13 км. В результаті сейсмічних досліджень її збільшили до 16 км, а потім – до 20–22 і навіть до 30 км. Натепер найбільш обґрунтованими вважаються результати досліджень по профілям «ДОВРЕ» I-II, згідно з якими максимальна глибина басейну складає приблизно 20 км, з них потужність кам'яновугільних відкладів – 13–14 км (Stephenson et al., 2001). Ці результати призвели до необхідності виділити між кристалічним фундаментом та карбоном проміжну товщу порід. Автори припускають, що ці породи представлені девонською сіллю. Але фізико-механічні властивості солі заперечують цьому припущенню. Внаслідок дії термодинамічних процесів сіль стає в'язкою і тече утворюючи солянокупольні структури (наприклад, діапіри у Бахмутській улоговині). Тож більш реальним є знаходження в проміжній товщі порід рифей – нижньопалеозойського віку. Наявність порід девону встановлена тільки на південно-західному борту Донбасу (потужність близько 500 м) і в брекчіях солянокупольних структур в центральній західній частині басейну, де потужність відкладень, за геофізичними даними, може досягати 2–3 км. Девонські відкладення на південно-західній околиці Донбасу представлені товщею осадових і вулканічних порід. Це переважно континентальні та частково дуже мілководні прибережно-морські осади, які мають обмежене розповсюдження. Верхня і нижня межі відкладень суттєво розмиті, що свідчить про активні тектонічні процеси, які відбувалися в нижньому палеозої.

Щодо існування рифейських відкладень прямих доказів не існує. Нестача прямих геологічних даних та достовірної геофізичної моделі змушують непрямим шляхом підійти до розгляду цих питань. Застосовуючи широко використовуваний в геології метод аналогій, можна результати, отримані на одному об'єкті, з достатньою мірою обґрунтування перенести на інші. Згідно з мобілістськими реконструкціями, в рифей Східноєвропейська плита (СЄП) представляла собою жорстку материкову структуру, яка при всіх мультіконтинентальних перебудовах знаходилась на межі з океанічними басейнами (Scotese, 2001). В період 1200–1000 млн років відбулася перебудова мантийної конвекції (готська, мазатцальська, ельсонська активізації). Це викликало розколи, переміщення зіткнення окремих плит, як і найбільшу активність процесів розтягування, потонення та дроблення кори з утворенням системи грабенів. Ці деструктивні процеси встановлені також і в східній частині Алтай-Саянської області, в західній Монголії, Тянь-Шані, Північній Америці, західній Африці та Індії, що свідчить про глобальний характер поширення цих структур (Sawkins, 1976). Тож одночасне утворення систем рифтів може свідчити про можливість утворення подібної структури в Донбасі.

Зібрані геолого-геофізичні матеріали, що характеризують грабеноподібні структури, які розташовані в межах СЄП і в яких зафіксовані докембрійські відкладення: Камсько-Бельська; Сергіївсько-Абдулінська; Пачелмська; Ново-Узенська; Ботничесько-Балтійська; Онежсько-Кандалакшинська; Доно-Медведицька; Волино-Оршанська та ін.

Встановлено, що їм притаманні:

- схожі розміри й асиметрична складна будова (декілька прямокутних трогів, обмежених скидами і зміщених один щодо одного регіональними скидо-вскидо-зсувами);

- аналогічні умови осадконакопичення (континентальні відклади потужністю 3–5 км, які представлені червоноколірними і строкатими конгломератами, пісковиками, алевролітами, аргілітами) та подібний магматизм (основний і ультраосновний склад вулканогенних порід);

- однаково проявляються в геофізичних полях (на картах гравітаційних полів структурам відповідають негативні лінійно витягнуті поля і криві  $\Delta g$  мають над ними характерну – симетричну – для западин форму; магнітних – системи смугових аномалій), у фундаменті присутні глибинні розломи;

- лінії простягання цих структур утворюють закономірну мережу, в якій переважають дві ортогональні системи: субмеридіональна і субширотна, північно-східна і північно-західна, відстані між структурами, що мають однакове простягання, витримані і кратні: 300, 150, 75 км.

Глобальний характер поширення розглянутих структур, витриманість відстаней між ними, ортогональність підтверджують утворення структур внаслідок однієї глобальної події і генетичний зв'язок рифейських грабенів з глибинними розломами. Відстань між Камсько-Більською та Пачелмською, Колво-Денисівською та Онезько-Кандалакшською структурами північно-західного простягання приблизно однакова і дорівнює 600 км, що кратно встановленим розмірам блоків. Це дозволяє припустити існування між рифейськими Пачелмським та Волино-Оршанським грабенами – Дніпрово-Донецького, розташованого за 550–600 км від кожного з них. Тож отримані дані дозволяють вважати, що в рифей глобальні розтягуючі зусилля зумовили одночасне утворення грабенів, просторово і генетично пов'язаних з глибинними розломами. Встановлені загальні закономірності утворення і розвитку грабенів СЄП в пізньому докембрії можуть побічно свідчити на користь існування рифейського грабену Донбасу, в фундаменті якого, за даними геофізичних робіт, розташований глибинний розлом, і дозволяють припустити, що його будова, параметри і умови осадконакопичення аналогічні іншим грабенам регіону.

Отримані дані дозволяють припустити:

1. відсутність девонської солі в центральній частині Донецької структури;
2. існування рифейського Доно-Дніпровського грабену, північно-західного простягання. За аналогією з розглянутими вище структурами, він може бути заповнений червонокольоровими континентальними відкладеннями, представленими гравелітами, пісковиками, алевролітами, потужність яких не перевищує 5 км, що збігається з даними сейсмічних досліджень.

Sawkins, F. J. (1976). Widespread continental rifting: some considerations of timing and mechanism. *Geology*, 4(7), 427–430.

Scotese, C. R. (2001). *Atlas of Earth History: Vol. 1. Paleogeography*. PALEOMAP Project.

Stephenson, R. A., Stovba, S. M., & Starostenko, V. I. (2001). Pripyat–Dniepr–Donets Basin: implications for dynamics of rifting and the tectonic history of the northern Peri-Tethyan Platform. In P. A. Ziegler, W. Cavazza, A. H. F. Robertson & S. Crasquin-Soleau (Eds.), *Peri-Tethys Memoir 6: Peri-Tethyan Rift/Wrench Basins and Passive Margins* (Mémoires du Muséum National d'Histoire Naturelle, 186, 369–400).

**ДЕФОРМАЦІЙНІ СТРУКТУРИ  
ФРОНТАЛЬНОЇ ЧАСТИНИ УКРАЇНСЬКИХ КАРПАТ:  
ОРІВСЬКА СКИБА В РАЙОНІ СХІДНИЦІ**

**Мілена БОГДАНОВА<sup>1</sup>, Анна МУРОВСЬКА<sup>2</sup>, Віктор АЛЬОХІН<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Львівський національний університет імені Івана Франка, Львів, Україна  
e-mail: milena.bohdanova@lnu.edu.ua; <https://orcid.org/0000-0002-7850-4482>

<sup>2</sup> Інститут геофізики ім. С. І. Субботіна НАН України, Київ, Україна  
e-mail: murovskaya@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-8034-7335>

<sup>3</sup> Донецький національний технічний університет, Дрогобич, Україна  
e-mail: viktor.alokhin@donntu.edu.ua; <https://orcid.org/0000-0002-5450-7195>

**DEFORMATION STRUCTURES  
OF THE FRONTAL PART OF THE UKRAINIAN CARPATHIANS:  
THE ORIV SKIBA NEAR SKHIDNYTSIA**

**Milena BOHDANOVA<sup>1</sup>, Anna MUROVSKAYA<sup>2</sup>, Viktor ALOKHIN<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Ivan Franko National University of Lviv, Faculty of Geology, Lviv, Ukraine

<sup>2</sup> S. I. Subbotin Institute of Geophysics, NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

<sup>3</sup> Donetsk National Technical University, Drohobych, Ukraine

Наші багаторічні польові спостереження в Українських Карпатах засвідчують широкий спектр деформаційних структур: розриви різних кінематичних типів і пов'язані з ними складки волочіння, складки баклінгу, структури та речовинні комплекси гравітаційного походження, кластичні дайки, а також меланжі різного генезису (Богданова, 2022; Гнилко та ін., 2026; Alokhin et al., 2018). Мета роботи полягає в описі й систематизації мезоструктур фронтальної частини Орівської скиби в районі селища Східниця, відомого проявами та розробкою вуглеводнів, наприклад (Гавришків, 2024), а також в оцінюванні ролі зазначених мезоструктур для реконструкції еволюції Карпатського складчасто-насувного поясу.

На південно-східній околиці Східниці, уздовж русла р. Східничанка ми дослідили зону тектонічного меланжу. Деформовані флішеві відклади стрийської світи верхньої крейди–палеогену простежуються у смугі завдовжки близько 150 м. Матричний тектоніт розвинений у механічно некомпетентних глинисто-аргілітових прошарках, які катаклазовані та розсланцьовані. Компетентні пісковикові шари та фрагменти складок утворюють інтенсивно тектонізовані блоки й лінзоподібні класти, хаотично включені в глинистий тектоніт (рис. 1).

У центральній частині Східниці ми спостерігали принасувні деформації у тонкоритмічному фліші менілітової світи олігоцену. Для відслонення на рис. 2, а характерні дрібні асиметричні складки волочіння з коротким крутим і довгим пологим крилами; їхні осьові поверхні субпаралельні до площин зміщувачів, а замки локально перекинуті. В іншому відслоненні менілітової світи в межах принасувної зони простежуються деформації зминання та крихкого руйнування: компетентні пісковикові пласти зміщуються один відносно одного й спричиняють складчасте деформування некомпетентних аргілітових та алевролітових прошарків (рис. 2, б). На представленому

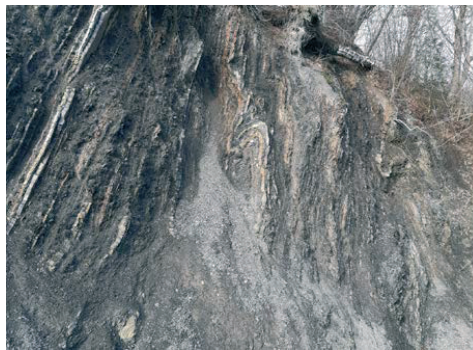


*a*



*б*

Рис. 1. Меланж розвинений по середньоритмічному флішу стрийської світи верхньої крейди – палеогену в руслі р. Східничанка: *a* – інтенсивно тектонізована брила пісковику; *б* – класти пісковику та фрагмент складки в глинистому матриксі меланжу



*a*



*б*

Рис. 2. Деформації тонкоритмічного флішу менілітової світи олігоцену в принасувній зоні: *a* – дрібні складки волочіння, сформовані внаслідок пошарового ковзання; *б* – зона зминання (баклінг) та крихкого руйнування

відслоненні ми ідентифікували складки поширення розломів і складки відшарування. Закономірна зміна S- та Z-подібної асиметрії на протилежних крилах більших складок у напрямку до їхнього шарніра свідчить про диференційне пошарове ковзання під час складкоутворення. Дефіцит простору, який виникає в процесі зростання таких асиметричних антикліналей, компенсується розвитком дрібних симетричних М-подібних складок у склепінній частині (див. рис. 2, *б*).

На крутому лівому березі р. Східничанка у відкладах тонкоритмічного еоценового флішу попелеської світи нами досліджено лежачу складку та пов'язані з нею парагенезиси гравітаційної тектоніки. До цього парагенезису належать кластичні дайки ін'єкційного походження, скидові порушення вищих порядків і прояви седиментаційного канібалізму (рис. 3).

Отже, фронтальна частина Орівської скиби характеризується просторовим поєднанням структур стиску, зсуву та локального розтягу. Тектонічний



Рис. 3. Лежача складка підводного оповзання у відкладах тонкоритмічного флішу попелівської світи еоцену, ускладнена скидовими розривами, на лівому березі р. Східничанка

меланж, будинаж, складки волочіння, складки поширення розломів і складки відшарування разом із гравітаційними структурами відображають неоднорідний розподіл деформації між шарами різної компетентності. Урахування цих мезоструктур дає змогу зменшити спотворення, пов'язані із застосуванням ідеалізованих моделей насувів, і створює фактичну основу для побудови реалістичніших структурних моделей та уточнення прогнозу локальних нафтогазоперспективних об'єктів (Гавришків, 2024; Шлапінський та ін., 2024).

Богданова, М. (2022). Деформації зони насуву між скибами Зелем'янка та Парашка Скибового покриву Українських Карпат (Гребенівський кар'єр). *Геологія і геохімія горючих копалин*, 1–2(187–188), 48–57. <https://doi.org/10.15407/ggcm2022.01-02.048>

Гавришків, Г. Я. (2024). До перспектив нафтогазоносності палеоценових відкладів Берегової і Орівської скиб Українських Карпат. *Геологія і геохімія горючих копалин*, 1–2(193–194), 32–49. <https://doi.org/10.15407/ggcm2024.193-194.032>

Гнилко, О. М., Муровська, А. В., Богданова, М. І., Artoni, A., & Chizzini, N. (2026). Структури розтягу у Зовнішніх Українських Карпатах (на прикладі польового дослідження менілітової світи у фронтальній частині Скибового покриву у селищі Верхнє Синьовидне). *Геологічний журнал*, 2, 5–19. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2026.2>

Шлапінський, В., Павлюк, М., Савчак, О., & Тернавський, М. (2024). Переінтерпретація геологічних даних щодо тектоніки окремих покривів і субпокривів Зовнішніх Карпат. *Геологія і геохімія горючих копалин*, 1–2(193–194), 5–21. <https://doi.org/10.15407/ggcm2024.193-194.005>

Alokhin, V. I., Tikhliyets, S. V., Murovska, A. V., & Puhach, A. V. (2018). Mineralogical features of the clastic dykes of the Eastern Carpathians Skybova zone. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 27(1), 3–11. <https://doi.org/10.15421/111824>

**РЕЗУЛЬТАТИ МІНЕРАЛОГО-ПЕТРОЛОГІЧНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ  
ТА ПАЛЕОГЕОДИНАМІЧНІ РЕКОНСТРУКЦІЇ  
ОФІОЛІТОВИХ ПАРАГЕНЕЗИСІВ МАРМАРОСЬКОЇ ЗОНИ СКЕЛЬ  
(УКРАЇНСЬКІ ВНУТРІШНІ КАРПАТИ)**

**Лариса ГЕНЕРАЛОВА<sup>1,a</sup>, Олег ГНИЛКО<sup>2</sup>, Яніна МИГУНОВА<sup>1,b</sup>**

<sup>1</sup> Львівський національний університет імені Івана Франка, Львів, Україна

<sup>a</sup> e-mail: larysa.heneralova@lnu.edu; <https://orcid.org/0000-0002-6033-6556>

<sup>b</sup> e-mail: yanina.mihunova@lnu.edu.ua; <https://orcid.org/0009-0009-9955-8285>

<sup>2</sup> Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, Львів, Україна

e-mail: ohnilko@yahoo.com; <https://orcid.org/0000-0001-5983-952X>

**RESULTS OF MINERALOGICAL-PETROLOGICAL STUDY  
AND PALEOGEODYNAMIC RECONSTRUCTIONS  
OF OPHIOLITE PARAGENESES OF THE MARMAROSH CLIFFEN ZONE  
(UKRAINIAN INNER CARPATHIANS)**

**Larysa GENERALOVA<sup>1,a</sup>, Oleh HNYLKO<sup>2</sup>, Yanina MYHUNOVA<sup>1,b</sup>**

<sup>1</sup> Ivan Franko National University of Lviv, Lviv, Ukraine

<sup>2</sup> Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals  
of the National Academy of Sciences of Ukraine, Lviv, Ukraine

Серед ключових геологічних проблем Українських Карпат чільне місце посідають вивчення магматичних процесів та відновлення пов'язаних із ними геодинамічних умов.

В останні роки накопичений новий фактичний і теоретичний матеріал по вивченню офіолітових асоціацій.

Метою роботи є аналіз нових даних породних парагенезисів офіолітів угольського комплексу, уточнення та доповнення геодинамічної моделі їхнього утворення.

Досліджувалися зразки порід офіолітових парагенезисів, відібрані нами останніми роками переважно в басейнах річок Велика і Мала Угольки (допливів р. Тербля). Розглянуто дані петрографічного, мінералогічного, рентгеноструктурного, термобарометричного та мікрорентгеновського вивчення порід і мінералів комплексу.

Українські Карпати розташовані у важливому тектонічному вузлі. Тут поєднуються два складні терени: Алькапа, кристалічний фундамент якого виявлено під Закарпатською западиною біля Ужгорода, та Тися-Дакія, представлений Мармароським масивом і однойменною зоною скель. Межі між теренами фіксуються кількома сутурними зонами та акреційними призмами. У стратиграфічному розрізі Мармароської зони скель (Вежанський покрив), представленої крейдово-палеогеновими відкладами, особливе місце посідає нижня частина. Вона складена потужною олістостромово-конгломератною (до 1000 м) нижньокрейдковою товщею соймульської світи, що належить до барему?–апту–альбу. Дослідження генезису олістолітів та конгломератових уламків у цій товщі вказує на наявність двох їх типів: порід кристалічного фундаменту Мармароського масиву та фрагментів офіолітів середньотріасового-нижньокрейдового (?) віку. Офіолітовий (угольський) комплекс

представлений метаморфізованими й тектонізованими перидотитами, кумулятивними та однорідними габро, уламками долеритових дайок, а також масивними й подушковими лавами метабазальтів. У міжподушковому просторі (скринах) пілоу-лав виявлено червоні яшмоїди, білі пелітоморфні й органігенні вапняки, змінені габроїди та гіалокластити (?). Для метабазальтів характерні лінзи та примазки умбр.

Результати вивчення мінеральних взаємовідношень свідчать про наявність двох рівноважних асоціацій у перидотитах угольського комплексу. Рання (первинна) асоціація фіксує склад олівіну, піроксену та (хром)шпінелідів, а пізня (вторинна) — комбінацію тремоліту, тальку, серпентину, хлориту й кальциту. Особливості акцесорних шпінелідів вказують на мінливість умов формування вміщуючих ультрабазитів. Великі виділення ізометричних чи ксеноморфних (хром)шпінелідів приурочені до гарцбургітів та лерцолітів. Водночас дрібнозернисті фракції представлені подовженими й еліпсоподібними індивідами, що залягають в інтерстиціях олівіну та піроксену зорієнтовано до директивності породи. Хіміко-морфологічні особливості цих мінералів чітко фіксують палеогеодинамічний режим формування перидотитів. Генерація помірнхромистих, високомагнезійних і низькозалізистих шпінелідів маркує слабкодеплітовані комплекси (ультра)повільного спредингу. Інший різновид, що має вищу залізистість, середню/високу хромистість та помірну/низьку магнезійність, є акцесорним для більш деплітованих аналогів. Останні властиві зонам середньо- та високошвидкісного спредингу в межах островодужних систем із проявами субдукційного бонінітового магматизму.

Дослідження шпінелідів перидотитів узгоджуються з виконаним вивченням метабазальтів угольського комплексу. Макроскопічно метабазальти мають зеленкувато-сірий або коричнеувато-зелений колір, масивну, сланцювату чи мигдалекам'яну текстуру. Останні містять ізометрично-еліпсоподібні секреції (0,5–2,0 мм), виповнені мінеральним агрегатом кварц-хлоритового та кварц-карбонат-хлоритового складу. При петрографічному вивченні порід фіксується порфірова структура, де основна маса має інтерсертальну, а локально — пілотакситову будову. Породоутворюючі мінерали метабазальтів представлені плагіоклазами (до 40 %), хлоритом (до 34 %), кварцом (до 20 %), також є карбонати (до 14 %); епізодично трапляються епідот, моноклінний піроксен і гідроксиди заліза. За петрохімічними даними, метабазальти угольського комплексу містять 48,66–51,97 % кремнезему. Їхня сума лугів коливається в межах 2,71–4,32 % за чіткого переважання натрію над калієм ( $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} = 1,31\text{--}7,64$ ). Порооди відрізняються низьким і середнім вмістом  $\text{TiO}_2$  (0,01–1,39 %) та загального заліза  $\text{FeO}^*$  (4,72–15,97 %), відносно високими концентраціями  $\text{MgO}$  (4,54–7,27 %) і стабільним вмістом  $\text{Al}_2\text{O}_3$  13,75–18,06 %. На діаграмі  $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})\text{--SiO}_2$  точки складів метабазальтів потрапляють в полі утворень нормальної лужності. Відповідно до співвідношень на діаграмі  $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}\text{--Al}_2\text{O}_3/(\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{FeO}+\text{MgO})$  досліджувані ефузиви є помірно- та високоглиноземистими ( $\text{al}^* = 1,36\text{--}1,42$ ), натрієвими та калій-натрієвими, мезо- і меланократовими ( $f = 18,81\text{--}24,24$ ). На дискримінантних діаграмах  $\text{FeO}^*/\text{MgO}\text{--SiO}_2$ ,  $\text{Kf}\text{--SiO}_2$ ,  $\text{AFM}$  їхні склади тяжіють до межі толейтової та вапнисто-лужної серій, демонструючи феннерівський тренд диференціації.

На основі петрохімічних критеріїв серед порід виділено дві групи океанічних толейтових базальтів. Перша генерація за геохімічними мітками близька до базальтів N- та T-типів. У межах угольського комплексу ці metabазальти залягають сумісно з перидотитами першого типу. Їм притаманний феннерівський тип диференціації з виразним тяжінням до тренду лерцолітової серії мантийних (шпінелевих) ультрабазитів, що свідчить про їхній генезис у відновних умовах спредингових зон серединно-океанічних хребтів. Склади іншої групи зміщені в бік базальтів P(E)-типу або комплексів енсиматичних островних дуг. Вони характеризуються підвищеною титанистістю й лужністю (за рахунок калію) та слабким зростанням вмісту  $\text{SiO}_2$ , що вказує на зміну геодинамічного режиму: свідчить про ініціацію зони субдукції та формування островної дуги на океанічній/перехідній корі.

Перидотити комплексу зазнали метаморфічних змін, серед яких сильно проявлена вторинна серпентинізація. Вивчені нами серпентини розділені на дві групи. Серпентини першої групи мають лінзовидно-петельчасті текстури, складаються з  $\alpha$ -лізардитів і баститів, які мають підвищену хромистість і містять великі незмінені зерна хромшпінелідів. Серпентини другої групи характеризуються смугасто-сланцюватими текстурами. Вони складаються із  $\beta$ -лізардитів і антигоритів, які мають підвищену залізистість і акцесорний пілоподібний магнетит. Серпентини першої групи несуть термодинамічні характеристики регресивного метаморфізму верхів зеленосланцевої фації, який реалізований в геодинамічній обстановці спредингу при охолодженні і підйомі перидотитів. Серпентини другої групи мають параметри прогресивного метаморфізму низів зеленосланцевої – верхів епідот-амфіболітової фацій. Серпентини другої групи, вірогідно, формувалися в надсубдукційних умовах між терейнами Дакія і Тися, які привели до закриття Трансильвансько-Муреського палеоокеану.

Комплексний аналіз мінералого-петрологічних особливостей парагенетичних асоціацій офіолітів Мармароської зони скель дає змогу реконструювати послідовну зміну палеогеодинамічних режимів у досліджуваному регіоні впродовж середнього тріасу – ранньої крейди, які відображаються в таких етапах: ініціація та розкриття океанічного басейну під час спредингу, трансформація геодинамічного режиму у надсубдукційний тип, тектоно-метаморфічна переробка офіолітів, обдукція та формування сучасного структурного плану.

**ГЕНЕЗИС ЕФУЗИВНИХ ТІЛ  
У МЕЖАХ ЧИВЧИНСЬКОГО ТА ПОРКУЛЕЦЬКОГО ПОКРОВІВ  
(УКРАЇНСЬКІ КАРПАТИ)**

**Василь ГИЩИН<sup>1</sup>, Володимир БЕЛЬСЬКИЙ<sup>2,a</sup>,  
Ганна КУЛЬЧИЦЬКА<sup>2</sup>, Ірина ШВАЙКА<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Українське мінералогічне товариство, Київ, Україна  
e-mail: terranaut.vg@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0009-7612-9672>

<sup>2</sup> Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення  
ім. М. П. Семененка НАН України, Київ, Україна  
<sup>a</sup> e-mail: belskyi\_vm@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-7990-1386>

**GENESIS OF EFFUSIVE BODIES  
WITHIN THE CHIVCHYN AND PORKULETSK NATURES  
(UKRAINIAN CARPATHIANS)**

**Vasyl GYSHCHYN<sup>1</sup>, Volodymyr BELSKYI<sup>2,a</sup>,  
Hanna KULCHYTSKA<sup>2</sup>, Iryna SHVAYKA<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Ukrainian Mineralogical Society, Kyiv, Ukraine  
<sup>2</sup> M. P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation  
of the NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Тіла ефузивів серед осадових відкладів юрського і крейдового віку – поширені утворення в Українських Карпатах, зокрема в межах Поркулецького та Чивчинського покровів. Геохімії, мінералогії та тектонічній приналежності цих ефузивних утворень присвячено низку фундаментальних праць (Ляшківч & Ступка, 2002; Ступка, 2013). У даній праці на підставі нових прецизійних геохімічних даних для кам'янопотоцького та тростянецького ефузивів (ICPMS та XRF), опрацьованих у середовищі R за допомогою пакета GCDkit (Janoušek et al., 2006), ідентифіковано джерело походження магми та деталізовано умови її підйому крізь земну кору.

В разі первинної класифікації порід за вмістом петрогенних оксидів та рідкісних елементів спостерігається виражена розбіжність між результатами. На класичній петрохімічній діаграмі TAS фігуративні точки зразків відповідають сублужним серіям середнього складу (базальтові трахі-андезити та андезити), демонструючи підвищений вміст кремнезему ( $\text{SiO}_2 \sim 54\text{--}58\%$ ) (рис. 1, a). Проте, зважаючи на корову контамінацію та інтенсивні накладені вторинні процеси (спілітизацію), класифікація за головними компонентами дещо спотворена.

Для ідентифікації протоліту використано діаграму Nb/Y – Zr/Ti на основі системи інертних високозарядних елементів (HFSE) (рис. 1, b). У цій системі обидві точки локалізуються в полі лужних базальтів (alkali basalt), що знімає ефект вторинних змін і вказує на лужно-базальтоїдну природу первинної магми. Даний результат узгоджується з попередніми дослідженнями щодо магматизму енсіалічних рифтогенних трогів регіону (Ступка, 2013).

Для визначення природи джерела магми та оцінки масштабів літосферного впливу використано діаграму нерухомих елементів Th/Yb –  $\text{TiO}_2/\text{Yb}$  (рис. 2, a). Фігуративні точки об'єктів демонструють чітку дискримінацію

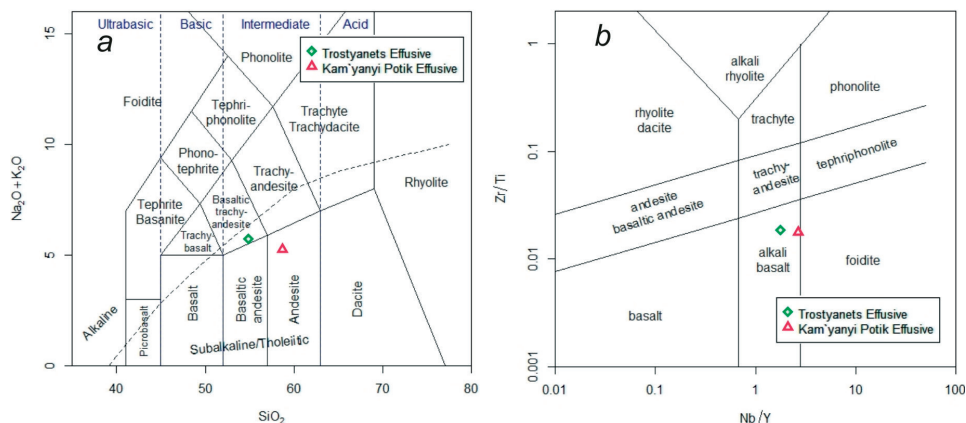


Рис. 1. Кам'янопотоцький та тростянецький ефузиви на класифікаційних діаграмах: *a* – загальна лужно-кремнеземиста діаграма TAS за Ле Басом; *b* – діаграма Nb/Y – Zr/Ti за Пірсом

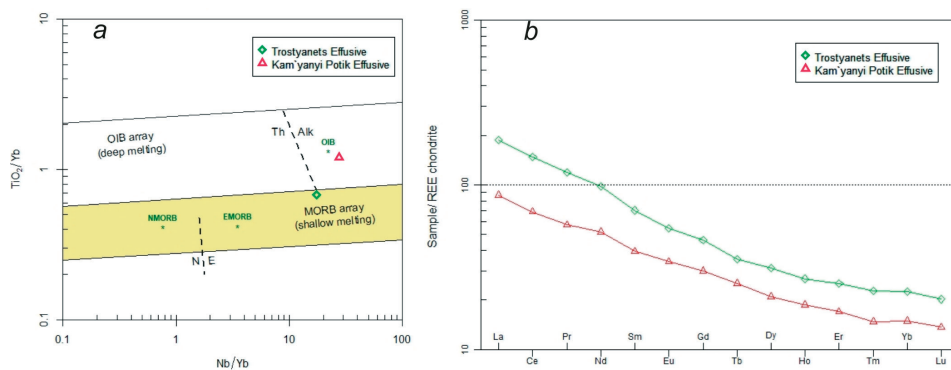


Рис. 2. Геохімічні діаграми індикації умов плавлення та розподілу лантаноїдів: *a* – дискримінаційна діаграма Nb/Yb – TiO<sub>2</sub>/Yb за Пірсом для оцінки глибини мантийного джерела. Базальти: **OIB** – океанічних островів; **E-MORB** – збагачені серединно-океанічних хребтів, **N-MORB** – нормальні серединно-океанічних хребтів. **Deep melting array** – зона глибинного мантийного плавлення, гранатова фація перидотитів; **Shallow melting array** – зона малоглибинного мантийного плавлення, шпінелева фація перидотитів; *b* – спайдер-діаграма розподілу рідкісноземельних елементів (REE), нормованих за хондритом

умов генерації, яка прямо корелює з часом формування тіл. Кам'янопотоцький ефузив з Чивчинського покрову, локалізований у верхньоярських відкладах чивчинської світи (J<sub>3</sub>ch), відображає початковий етап активізації системи: його точка фіксує зону глибокого мантийного плавлення (deep melting array) та виявляє значний вертикальний зсув вгору вздовж вектора корової контамінації (Crustal contamination). Це свідчить про те, що у пізній юрі первинний розплав відокремлювався на нижніх рівнях в умовах стабільності гранатової фації перидотитів (глибина > 80 км), де реститовий гранат утримував важкі лантаноїди (Yb, Lu), а тривалий підйом магми крізь літосферу супроводжувався інтенсивною асиміляцією, що й зумовило штучне збагачення кремнеземом на діаграмі TAS (рис. 1, *a*).

Натомість тростянецький ефузив, що залягає у нижньокрейдових відкладах боркутської світи (K<sub>1</sub>br) Поркулецького покрову, відображає наступний етап еволюції рифтогенної структури. На рис. 2, *a* його фігуративна точка

зміщена вниз та ліворуч – у поле декомпресійного малоглибинного плавлення (shallow melting) та розташована безпосередньо на мантіїному тренді без ознак корового забруднення. Прогресуючий у ранній крейді рифтогенез призвів до витончення літосфери та декомпресійного апвелінгу мантіїного плюму у вищі горизонти розрізу – у межах шпінелевої фації (30–80 км) (White, 2013). Падіння тиску спровокувало додаткове масштабне плавлення субстрату. Оскільки реститова шпінель не здатна утримувати важкі REE та Ti, відбувся валовий викид несумісних елементів у розплав (White, 2013). При цьому підйом магми відбувався вже проробленими тектонічними каналами, що забезпечило геохімічну «чистоту» розплаву.

Розподіл рідкісноземельних елементів (REE), нормованих за хондритом (рис. 2, b), підтверджує цю модель динамічного розвитку. Спектри лантанодів для обох об'єктів виявляють повну субпаралельність контурів, що доводить їхню комагматичність та генетичний зв'язок із єдиним внутрішньоплитним джерелом плюмової природи (OIB-тип). Вертикальне зміщення кривих (від  $La_N \sim 90$  для кам'янопотоцького ефузиву ( $J_3ch$ ) до  $La_N \sim 200$  для тростянецького ( $K_1br$ )) без порушення їхніх співвідношень підтверджує палеотектонічний сценарій інтенсифікації декомпресійного плавлення та пасивного концентрування лантанодів на нижньокрейдовому етапі еволюції єдиної рифтогенної системи.

Ляшкевич, З. М., & Ступка, О. О. (2002). Про офіолітову асоціацію Українських Карпат. *Геологія і геохімія горючих копалин*, 1, 109–116.

Ступка, О. О. (2013). *Офіоліти Українських Карпат: геохімія і мінералогія* [Автореф. дис. канд. геол. наук, Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України]. Львів.

Janoušek, V., Farrow, C. M., & Erban, V. (2006). Interpretation of whole-rock geochemical data in igneous geochemistry: introducing Geochemical Data Toolkit (GCDkit). *Journal of Petrology*, 47(6), 1255–1259.

White, W. M. (2013). *Geochemistry*. Wiley-Blackwell, West Sussex.

УДК 551.24(477.8)

## СУТУРИ АЛЬПІЙСЬКОГО ТЕТИСУ В УКРАЇНСЬКИХ КАРПАТАХ

Олег ГНИЛКО

Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, Львів, Україна  
e-mail: ohnilko@yahoo.com; <https://orcid.org/0000-0001-5983-952X>

## SUTURES OF THE ALPINE TETHYS IN THE UKRAINIAN CARPATHIANS

Oleh HNYLKO

Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals  
of the NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine

Сутурні зони – палеосубдукційні зони або, іншими словами, сліди колишніх океанічних басейнів, є елементами першого порядку в будові орогенів, в тому числі і Карпат. Вони розділяють давні континенти і мікроконтиненти,

які тісно зближені між собою і об'єднані в єдиний континент в результаті колізійних процесів. Сутури виражені смугами інтенсивно деформованих порід, до складу яких можуть входити залишки океанічної літосфери (глибоководні океанічні відклади, базальти, ультрабазити тощо). В альпійській споруді Карпат розвинені сутурні зони мезозойсько-кайнозойського океану Тетис, який складався з двох великих океанічних басейнів – Неотетису та Альпійського Тетису. Ці сутурні зони розділяють кристалічні масиви Внутрішніх Карпат ( $\approx$  терейни або колишні мікроконтиненти Тетису) один від одного та від великого Євразійського континенту (Schmid et al., 2020).

Головними тектонічними елементами Карпатського орогену є Центральні Західні Карпати (частина терейну Алькапа), Центральні Східні Карпати (частина терейну Тисія-Дакія), Пенінський кліповий пояс та Флішові Карпати. Два останні елементи є великою композитною (складеною з декількох призм) акреційною палеопризмою, утвореною при субдукції Карпатських басейнів Тетису під терейни Алькапа і Тисія-Дакія. Внутрішні частини цієї призми, вірогідно, походять з океанічної області і, відповідно, відносяться до сутурних зон, а зовнішні – складені відкладами приконтинентальних областей Євразії (Schmid et al., 2020; Murovskaya et al., 2025 and references therein).

В даній роботі ми розглянемо структурні одиниці Українських Карпат, які репрезентують сутурні зони Альпійського Тетису. Останній розкрився в юрський період і був частиною Тетису, яка була прямо поєднана з Атлантичним океаном і розміщувалась як між терейнами Алькапа і Тисія-Дакія, так і між ними та Євразією (Schmid et al., 2020).

Частина Альпійського Тетису, залишки якої розвинені в Альпах і Західних Карпатах, складена з північної і південної гілок, які були розділені континентальним підняттям. Останнє в Західних Карпатах представлене так званим «Чорштинським підняттям (кордільєрою)», відклади якого складені мілководними юрсько-ранньокрейдовими чорштинськими фаціями, що зараз відслонюються в Пенінському кліповому поясі. Залишки південної гілки Альпійського Тетису представлені глибоководними фаціями (зокрема юрські радіоларити Пенінського кліпового поясу), а північної його гілки – відкладами Магурського покриву Флішових Карпат (Schmid et al., 2020 and references therein).

В Східних і Південних Карпатах залишками східної частини Альпійського Тетису, яка відділяла Тисію-Дакію від Євразії, є одиниця Чахлеу-Северин, що містить залишки офіолітів, включаючи базити/ультрабазити в покриві Северин та середньоярські-беріасові вулканічні породи основного складу в покриві Чорного флішу (Schmid et al., 2020).

В *Українських Західних Карпатах*, сутура Альпійського Тетису виражена Пенінським кліповим поясом ( $\approx$ Пенінська зона) та Магурсько-Монастирцьким флішовим покривом. В *Пенінському кліповому поясі* розвинені переважно юрські криноїдні, органогенно-уламкові і пелітоморфні вапняки і мергелі; червоноколірні грудкуваті вапняки (фація «амонітіко rosso»); іноді вапняки з прошарками кременів (фація «майоліка»); крейдові сірі і червоні мергелі (тисальська та пухівська світи); маастрихтські синогrogenні брекчії (ярмутська світа) та еоценові посторогенні конгломерати і флішоїди

(вувльховчицька світа). Юрсько-крейдова доорогенна частина цих відкладів відноситься до фацій Чорштинського підняття і його схилів (Krobicki et al., 2003).

*Магурсько-Монастирецький покрив* складений палеогеновими турбідитовими відкладами, які розвинені як у внутрішній частині Зовнішніх Флішових Карпат і відкладались між терейном Алькапа та Євразією (Магурська одиниця), так і у Внутрішніх Флішових Карпатах між терейнами Алькапа та Тисія-Дакія (Монастирецька одиниця). Характерні глибоководні відклади розвинені в Монастирецькій одиниці – ритмічні турбідити та геміпелагіти з глибоководними аглютинованими форамініферами (S. Hnylko & Hnylko, 2016). До півдня Магурсько-Монастирецький покрив переходить в Румунію, де його еквівалентами є покриви Петрова і Вілд-Флішу, і далі в Угорщину, де його вірогідним продовженням, принаймі частково, є Сольноцький фліш (Золтан Балла, персональне спілкування), локалізований між терейнами Алькапа і Тисія-Дакія (Schmid et al., 2020 and references therein).

В *Українських Східних Карпатах* сутура Альпійського Тетису, яка знаходиться на продовженні румунської одиниці Чахлеу-Северин, представлена Примармароською сутурою (Hnylko et al., 2015). Вона включає серію внутрішніх покривів Східних Внутрішніх Карпат, зокрема Кам'янопотоцький, Рахівський та Буркутський, які містять вулканогенні породи основного складу в основі флішового розрізу. В основі стратиграфічного розрізу Кам'янопотоцької одиниці лежить верхньоюрська чивчинська світа (потужністю до 1000 м), складена переважно вулканічними породами основного складу, зокрема піллоу-лавами, вулканогенними брекчіями і туфами. Вулканіти, згідно зі своїми петрохімічними особливостями, близькі до океанічної кори. Більш зовнішній Рахівський покрив заповнений рахівською світою, складеною ранньокрейдовим флішем – турбідитами з прошарками вапняків геміпелагічного походження. В низах стратиграфічного розрізу Буркутської одиниці, яка займає найбільш зовнішнє положення в цій сутурній зоні, розвинена верхньоюрсько-неокомська тростянецька вулканогенна товща (потужністю до перших сотень метрів), складена переважно базальтоїдами (піллоу-лавами, туфами тощо), яка, відповідно до петрохімічних даних, містить вулканіти океанічної і континентальної кори (Hnylko et al., 2015 and references therein).

Отже, сутури Альпійського Тетису в Українських Карпатах виражені наступними елементами: *Пенінський кліновий пояс* та *Магурсько-Монастирецький покрив* Західних Карпат, *Примармароська сутура* Східних Флішових Карпат. До складу останньої в Україні входять Кам'янопотоцький, Рахівський та Буркутський внутрішні флішові покриви.

Hnylko, O., Krobicki, M., Feldman-Olszewska, A., & Iwańczuk, J. (2015). Geology of the volcano-sedimentary complex of the Kamyanyi Potik Unit on Chyrvchyn Mountain (Ukrainian Carpathians): preliminary results. *Geological Quarterly*, 59(1), 145–156. <https://doi.org/10.7306/gq.1220>

Hnylko, S., & Hnylko, O. (2016). Foraminiferal stratigraphy and palaeobathymetry of Paleocene-lowermost Oligocene deposits (Vezhany and Monastirets nappes, Ukrainian Carpathians). *Geological Quarterly*, 1(60), 75–103. <https://doi.org/10.7306/gq.1247>

- Krobicki, M., Kruglov, S. S., Matyja, B. A., Wierzbowski, A., Albrecht, R., Bubniak, A., & Bubniak, I. (2003). Relation between Jurassic klippen successions in the Polish and Ukrainian parts of the Pieniny Klippen Belt. *Mineralia Slovaca*, 35, 56–58.
- Murovskaya, A., Hnylko, O., Makarenko, I., Savchenko, O., Kitchka, A., Verpakhovska, O., & Legostaeva, O. (2025). Review and updates of the lithosphere structure and geodynamics evolution of the Neogene Transcarpathian Basin and its substratum (Ukraine). In *Geological Society of London. Collection. The Miocene Extensional Pannonian Superbasin. Vol. 1*. <https://doi.org/10.1144/SP554-2024-19>
- Schmid, S. M., Bernoulli, D., Fügenschuh, B., Georgiev, N., Kounov, A., Mañenco, L., Nievergelt, P., Oberhänsli, R., Pleuger, J., Schefer, S., Schuster, R., Tomljenovic, B., Ustaszewski, K., & van Hinsbergen, D. J. J. (2020). Tectonic units of the Alpine collision zone between Eastern Alps and Western Turkey. *Gondwana Research*, 78, 308–374. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2019.07.005>

УДК 551.781 (477.8)

## **ПАЛЕОЕКОЛОГІЯ ФОРАМІНІФЕР З ВІДКЛАДІВ ПАЛЕОЦЕНУ–ЕОЦЕНУ УКРАЇНСЬКИХ КАРПАТ**

**Світлана ГНІЛКО**

Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, Львів, Україна  
e-mail: s.nylko@yahoo.com; <https://orcid.org/0000-0002-4167-3514>

## **PALEOECOLOGY OF FORAMINIFERA FROM PALEOCENE-EOCENE DEPOSITS OF THE UKRAINIAN CARPATHIANS**

**Svitlana HNYLKO**

Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals  
of the National Academy of Sciences of Ukraine, Lviv, Ukraine

Дрібні форамініфери широко розвинені у фліші Карпат і є важливими як для стратиграфії, так і для відтворення умов палеобасейнів седиментації. Представлена робота ґрунтується на власних дослідженнях форамініфер палеоцену–еоцену з відслонених розрізів в межах Скибового, Сілезького, Субсілезького, Свидовецького, Чорногорського, Дуклянського, Вежанського і Монастирського покривів. Для відтворення умов палеобасейнів застосовані проби істотно глинистих і мергелистих порід з (гемі)пелагічних відкладів, які переважно не містять перевідкладених решток. В дослідженому матеріалі виявлено чисельні форамініфери, серед яких присутні бентосні (аглютиновані та секретійні) та планктонні форми. Згідно з методиками дослідження форамініфер (Murrey, 1976; Kaminski & Gradstein, 2005, а також наведені там джерела; BouDagher-Fadel, 2015, а також наведені там джерела) проведено відтворення деяких умов існування і захоронення мікрофауни в палеобасейнах Карпат.

В досліджених відкладах на підставі відсоткового співвідношення черепашок планктонних і бентосних форамініфер, їх таксономічного складу та морфологічних особливостей розрізняємо чотири основні типи форамініферових біофацій.

**Біофації аглютинованих форамініфер схилів-підніжжя басейнів (1)** =біофації аглютинованих форамініфер «флішевого типу» в розумінні (Kaminski & Gradstein, 2005). Широко розвинені в типово флішевих ритмічних товщах палеоцену–еоцену. Аглютиновані форамініфери (90–100 % ориктоценозів) складені головно кременистим (кварц, халцедон) матеріалом. Біофації характеризуються перевагою відносно великих середньо-грубозернистих форм. Вказують на флішевий басейн з глибинами поблизу або нижче рівня компенсації кальциту (англ.: CCD – Calcite Compensation Depth).

**Біофації аглютинованих форамініфер глибоководних піднять чи абісальних рівнин (2)** =абісальні біофації в розумінні (Kaminski & Gradstein, 2005). Поширені в невапнистих фонових седиментах пелагічного походження палеоцену – нижнього еоцену, зокрема в червоноколірних аргілітах (ямненська, манявська, витвицька, сушманецька світи). Аглютиновані форамініфери (до 100 % ориктоценозів) складені кременистим матеріалом. Біофації характеризуються перевагою дрібнорослих форамініфер з дрібнозернистими або тонкоаглютинованими черепашками. Вказують на повільну седиментацію на глибинах басейну нижче CCD.

**Біофації з переважанням планктонних форамініфер батіальної зони (3)** виділені згідно з (Murrey, 1976; BouDagher-Fadel, 2015, а також наведені там джерела). Виявлені в зелених, червоних, сірих мергелях палеоцену–еоцену метовської світи (Вежанський покрив), регіонально поширені в пограничних верствах еоцену і олігоцену Карпат. Характеризуються високим вмістом (> 70 % ориктоценозів) і доброю збереженістю черепашок планктонних форамініфер, присутністю крупних форм родів *Dentoglobigerina*, *Subbotina*, *Globanomalina*, *Morozovella*, *Hantkenina*. Вказують на умови батіалі вище CCD і форамініферової лізоклини.

**Змішані планктонно-бентосні біофації схилів басейнів (4)** виділено у верхній частині березнянської світи, в лютській і стричавській світах (Дуклянський покрив), в пародчинській світі (Чорногорський покрив), у метовській світі (Вежанський покрив). Для асоціації характерним є наступне співвідношення форм: аглютинованих – 60–80 %; планктонних – 10–40 %; секретійних бентосних – до 10 %. Характеризують схили басейнів на глибинах вище CCD.

У фліші палеоцену–еоцену Карпат найбільш поширені аглютиновані бентосні форамініфери, які виявляють високе розмаїття таксономічного складу і морфології черепашок, що характерно для глибоководних частин басейнів поблизу чи нижче CCD. Згідно з методикою (Kaminski & Gradstein, 2005, а також наведені там джерела) виділено 4 морфогрупи (**M1–M4**), які вказують на особливості існування (позиція щодо субстрату, спосіб живлення) аглютинованих форамініфер.

Морфогрупа (**M1**) включає тубулярні форми, які приблизно перпендикулярно кріпляться до субстрату і живляться шляхом фільтрації. Основні роди – *Bathysiphon*, *Nothia*, *Aschemocella*, *Psammosiphonella*.

Морфогрупи (**M2** і **M3**) включають переважно кулясті, округлі чи видовжені планіспіральні і трохоспіральні форми, які відносяться до поверхневої епіфауни, рідше – до інфауни, яка існує, неглибоко зариваючись в осад. Живляться з донних відкладів. Основні роди – *Psammosphaera*, *Placentamina*, *Cribr stomoides*, *Recurvoides*, *Trochamina*, *Spiroplectamina*.

Морфогрупа (М4) включає округлі чи видовжені форми різної морфології, які відносяться головно до інфауни, що заривається в осад, рідше – до поверхневої епіфауни. Живляться з донних відкладів. Основні роди – *Haplophragmoides*, *Reticulophragmium*, *Karrerulina*, *Reophax*, *Subreophax*.

Присутність планктонних форамініфер у відкладах палеоцену–еоцену Карпат вказує на нормально солоне морське палеосередовище, а їх таксономічний склад і присутність крупних, часто кілюватих форм – на теплий клімат. Батіальні умови, сприятливі для розвитку планктонної і секретійної бентосної мікрофауни з глибинами вище CCD і форамініферової лізокліни протягом палеоцену–еоцену існували на схилах Мармароського масиву (метовська світа). Наприкінці еоцену мергелі з високим вмістом планктонних форамініфер і присутністю секретійного бентосу набувають регіонального поширення. Навколо межі еоцену і олігоцену склад планктонних форамініфер поступово, але суттєво змінюється, що вказує на значне похолодання. Тут же спостережено практичне зникнення аглютинованих форм, що пов'язано зі змінами донних умов палеобасейну.

BouDagherFadel, M. K. (2015). *Biostratigraphic and geological significance of planktonic foraminifera*. London: UCL Press University Collage. <https://doi.org/10.14324/111.9781910634257>

Kaminski, M. A., & Gradstein, F. M. (2005). *Atlas of Paleogene cosmopolitan deep-water agglutinated foraminifera*. Grzybowski Foundation Special Publication. Vol. 10. P. 1–547.

Murray, J. W. (1976). A method of determining proximity of marginal seas to an ocean. *Marine Geology*, 22, 256–284.

УДК 551.762(477.8)

## СТРАТИГРАФІЧНА СХЕМА ЮРСЬКИХ ВІДКЛАДІВ УКРАЇНСЬКОГО ПЕРЕДКАРПАТТЯ

Наталія ЖАБІНА<sup>1</sup>, Олена АНІКЕСВА<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Інститут геологічних наук НАН України, Київ, Україна

e-mail: zhabinanatalia@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-2759-2010>

<sup>2</sup> Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, Львів, Україна

e-mail: geolena@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0001-8177-4304>

## THE STRATIGRAPHIC SCHEME OF JURASSIC SEDIMENTS IN UKRAINIAN PRECARPATHIANS

Natalia ZHABINA<sup>1</sup>, Olena ANIKEYEVA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institute of Geological Sciences of the NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup> Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals  
of the NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine

У Передкарпатті та на прилеглий частині Волино-Подільської окраїни Східноєвропейської платформи юрські відклади залягають автохтонно на глибинах від 0 до понад 5000 м і утворюють самостійний структурний поверх (Стрийський юрський прогин). Вони поширені суцільною смугою

| МСШ     |          | ПЕРЕДКАРПАТСЬКИЙ ПРОГИН |          | ПІВДЕННО-ЗАХІДНИЙ КРАЙ СХІДНОЄВРОПЕЙСЬКОЇ ПЛАТФОРМИ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |  |
|---------|----------|-------------------------|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| СИСТЕМА | ВІДДІЛ   | ЯРУС                    | ПІД'ЯРУС | СТРИЙСЬКИЙ ЮРСЬКИЙ ПРОГИН                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |  |
| ЮРСЬКА  | ВЕРХНІЙ  | ТИТОН                   | В        | Каролінська світа<br>Нижня підсвіта - глинисті вапняки, вапнякові брекчі аргіліти, пісковики 430 м                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |
|         |          |                         | Н        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |  |
|         |          | КІМЕРІДЖ                | В        | Моранцієвська світа<br>Темно-сірі аргіліти, глинисті вапняки, вапнякові брекчі 245-300 м                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |  |
|         |          |                         | Н        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |  |
|         |          | ОКСФОРД                 | В        | Бонівська світа<br>Перешарування сірих, коричнево-сірих мікритових і пелетових вапняків та аргілітів 50-280 м                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |  |
|         |          |                         | С        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |  |
|         |          |                         | С        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |  |
|         |          |                         | Н        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |  |
|         |          | ОПАРСЬКА СІТА           | В        | Верхня підсвіта - світлі біогерміні вапняки 400-1100 м                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |  |
|         |          |                         | С        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |  |
|         |          |                         | С        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |  |
|         |          |                         | Н        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |  |
|         | СЕРЕДНІЙ | КЕПОВЕЙ                 | В        | Яворівська світа<br>Сірі вохристі некарбонатні пісковики та кварцові алевроліти. У підшві - конгломерати і гравеліти. Верх - перешарування доломітів, брекчій, вапняків < 100 м                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |  |
|         |          |                         | С        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |  |
|         |          |                         | С        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |  |
|         |          |                         | Н        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |  |
|         |          | БАТ                     | В        | Коханівська світа<br>Темно-сірі до чорних аргіліти з органічним детритом, переважно безкарбонатні, з прошарками сірих слюдистих тонкошаруватих пісковиків та піскуватих алевролітів, вапняків, гравелітів. Вапняки темно-сірі, органічно-упаковані, з детритом водоростей, моховаток, губок, голкошориків, форамініфер (прошарки до 5 см). У нижній частині - пелелітиди та товський та валенський паликомілітесис, у верхній частині - рештки макро- і мікрофауни та асоціація спор і пилку байос-батського віку. < 582 м |  |
|         |          |                         | С        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |  |
|         |          |                         | С        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |  |
|         |          |                         | Н        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |  |
|         |          | БАЙОС                   | В        | Меденицька світа<br>Сірі кварцові пісковики (місцями косшаруваті, пористі, з лізми та прошарками вугілля) з прошарками алевролітів, алеверитистих або кременистих аргілітів, вапняків < 600 м                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |  |
|         |          |                         | С        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |  |
|         |          |                         | С        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |  |
|         |          |                         | Н        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |  |
|         | НИЖНІЙ   | ТОАР                    | В        | Подолецька світа<br>Ритмічне чергування: низ - аргіліти і алевроліти, вище - косшаруваті алевроліти і пісковики, вверху з прошарками вапняків, у покриві з лізми і просилками ангідасту < 580 м                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |  |
|         |          |                         | С        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |  |
|         |          |                         | С        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |  |
|         |          |                         | Н        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |  |
|         |          | ПІЛІНСЬКА               | В        | Бортятинська світа<br>Зеленувато-сірі алевроліти з прошарками сірих дрібнозернистих кварцитоподібних пісковиків і темно-сірих нешаруватих алеверитистих аргілітів і алевролітів < 295 м                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |  |
|         |          |                         | С        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |  |
|         |          |                         | С        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |  |
|         |          |                         | Н        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |  |
|         | ГЕТАНГ   | СИНЕМОР                 | В        | Комарненська світа<br>Перешарування сірих дрібнозернистих кварцових, кварцитоподібних пісковиків, аргілітів, алевролітів > 560 м                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |  |
|         |          |                         | С        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |  |
|         |          |                         | С        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |  |
|         |          |                         | Н        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |  |

Стратиграфічна схема юрських відкладів Українського Передкарпаття

субмеридіонального простягання шириною до 100 км, розкриті численними свердловинами та відслонюються у басейні р. Дністер.

Юрські відклади трансгресивно залягають на еродованому палеозойському фундаменті, з розмивом перекриваються утвореннями крейди та неогену. Глибина залягання поступово збільшується на захід, від відслонень на Дністрі до 2,5–3 км у районі Краковецького розлому та понад 4–5 км у піднасуві Карпат. Повнота розрізу й товщини також зростають у західному напрямі – від кількох метрів на Волині до 2500 м поблизу Краковецького розлому. Нижній та середній відділи поширені на північному заході Передкарпатського прогину і локально на платформі, представлені переважно теригенними відкладами. Верхня юра поширена на всій території Стрийського юрського прогину і разом з утвореннями беріасу–валанжину складає комплекс карбонатних порід. Західною границею поширення відкладів юри є Краковецький розлом, на південному сході вони перекриті насувними структурами Карпат. Східна границя ерозійна та простежується на Волино-Поділлі.

Чинна стратиграфічна схема відкладів юри Українського Передкарпаття затверджена Мезозойською комісією Національного Стратиграфічного

Комітету України у 2013 р. (рисунок). Вона увійшла до Стратиграфічних схем юрських відкладів Карпатського регіону (Гожик, 2013, Схеми 10.1, 10.2). В основу покладено стратиграфічну схему юрських відкладів Передкарпатського прогину і Волино-Подільського краю Східноєвропейської платформи, створену фахівцями УкрДГРІ (1986 р.), яку в подальшому було уточнено і деталізовано (Дулуб та ін., 2003; Zhabina et al., 2017). Згідно з чинною схемою, відклади юрської системи на території Передкарпаття представлені двома формаційними комплексами: нижнім теригенним та верхнім карбонатним.

Теригенний комплекс представлений переважно морськими утвореннями нижньої та середньої юри. У його складі виділено світи: комарненську, борятинську, подолецьку, меденицьку, коханівську, яворівську. На периферії поширені озерно-болотні та руслові відклади середньої юри (сокальська світа). Відклади нижньої юри датовано за віком спорово-пилкових комплексів і за положенням у розрізі. Вік середньоярських відкладів визначено за молюсками, форамініферами, палінокомплексами, відбитками флори та седиментологічними ознаками.

В основу стратиграфії карбонатного комплексу покладена схема стандартних фаціальних поясів карбонатного шельфу та виділено світи, кожна з яких являє собою окрему фацію. Світи датовані за віком комплексів макро- і мікрофауни залежно від фаціальних зон: рудківська – за форамініферами і амонітами; городоцька, підлубенська, опарська – за форамініферами; бонівська, моранцівська і каролінська – за форамініферами і тинтинідами; рава-руська, нижнівська і буківненська – за молюсками і форамініферами.

Гожик, П. Ф. (2013). *Стратиграфія верхнього протерозою та фанерозою України: Т. 1. Стратиграфія верхнього протерозою, палеозою та мезозою України*. Київ: Логос.

Дулуб, В. Г., Жабіна, Н. М., Огороднік, М. Є., & Смірнов, С. Є. (2003). *Пояснювальна записка до стратиграфічної схеми юрських відкладів Передкарпаття (Стрийський юрський басейн)*. Львів: ЛВ УкрДГРІ.

Zhabina, N. M., Shlapinsky, V. Y., Prykhodko, M. G., Anikeyeva, O. V., & Machalsky, D. V. (2017). Generalized stratigraphic scheme of the Jurassic of Western Ukraine. *Геологічний журнал*, 4(361), 9–22. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2017.4.121165>

## **МЕТОДИКА ЦИКЛОСТРАТИГРАФІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ НЕОГЕНУ ЗАХІДНОГО ПОДІЛЛЯ**

**Антоніна ІВАНІНА<sup>a</sup>, Ярина ТУЗЯК<sup>b</sup>**

Львівський національний університет імені Івана Франка, Львів, Україна

<sup>a</sup> e-mail: antonina.ivanina@lnu.edu.ua; <https://orcid.org/0000-0003-4112-941X>

<sup>b</sup> e-mail: yaryna.tuzyak@lnu.edu.ua; <https://orcid.org/0000-0002-5749-3235>

## **METHODOLOGY OF CYCLOSTRATIGRAPHIC INVESTIGATIONS OF THE NEOGENE IN WESTERN PODILLIA**

**Antonina IVANINA<sup>a</sup>, Yaryna TUZYAK<sup>b</sup>**

Ivan Franko National University of Lviv, Lviv, Ukraine

В межах Західного Поділля (Волино-Подільська окраїна Східноєвропейської платформи) є циклічно побудовані відклади неогену, які датовані за палеонтологічними даними як середній міоцен (Іваніна, 2026). Вони представлені теригенно-карбонатними відкладами, що формувалися в умовах неодноразових трансгресивно-регресивних коливань рівня моря, які відображаються у ритмічній будові розрізів і створюють передумови для застосування циклостратиграфічних методів дослідження.

Циклостратиграфія ґрунтується на вивченні закономірної повторюваності осадових комплексів, що виникають унаслідок періодичних змін клімату, тектонічного режиму та коливань рівня моря. На відміну від традиційної стратиграфії, основною одиницею аналізу є цикл, який відображає зміну напрямку розвитку седиментаційного процесу. Виділення циклів дозволяє встановити послідовність трансгресивних і регресивних фаз та виконати високоточну кореляцію розрізів.

В Україні є досвід використання літолого-фаціального аналізу з виділенням циклів для різнофаціальних вугленосних товщ карбону Донецького та Львівсько-Волинського вугільних басейнів. Методика виділення циклів вугленосних товщ описана в (Радзівіл, 2007). Для неогенових відкладів Поділля, незважаючи на тривалу історію дослідження, хорошу відслоненість, фаціальну строкатість відкладів і ритмічне чергування теригенних і карбонатних порід, циклостратиграфічний метод для вивчення не застосовували. Нижче розглянуто сучасні методичні підходи і висвітлено основні етапи проведення циклостратиграфічного аналізу.

Під час досліджень неогенових відкладів Поділля застосовано фаціально-циклічний аналіз, або метод літогенотипів. Його головною операційною процедурою є детальна пошарова характеристика відслонень і виділення літогенотипів – головної елементарної одиниці стратиграфічного розрізу. Літогенетичний тип – це порода з генетичними ознаками, за якими можна відновити седиментаційне середовище та його параметри. За наборами літогенотипів відновлюємо фації, їхні вертикальні послідовності та циклічність. Циклічність полягає у закономірній зміні літогенотипів і фацій у часі і розрізі та характеризує перехід від глибоководних аквальних умов до мілководних чи континентальних і знову до аквальних. Парагенетичні асоціації фацій

складають цикліти, в яких за характером зміни фацій виділяють трансгресивні і регресивні частини. Типізацію циклітів виконують за зіставленням фацій трансгресивних і регресивних інтервалів циклітів та за положенням у розрізі між підшвами трансгресивних частин циклітів (маркувальних горизонтів). Граничні поверхні циклітів різко виражені, ерозійні.

Методика циклостратиграфічних досліджень неогенових відкладів Поділля включає декілька взаємопов'язаних етапів. Першим і найголовнішим етапом є детальне польове вивчення природних відслонень із пошаровим описом порід, їхнього літологічного складу, текстур, структур, потужностей, пограничних поверхонь, особливостей поширення у розрізі, визначення вмісту, складу і характеру розподілу викопних решток, відносного віку порід тощо. Особливої уваги надано фіксації повторюваних літологічних комплексів, що можуть відповідати окремим осадовим циклітам. Головні завдання польового етапу такі: виділення й характеристика літогенетичних типів за первинними генетичними ознаками; по кожному розрізу складання реєстру літогенотипів та визначення особливостей їхнього вертикального розподілу; встановлення повторюваності літогенотипів у кожному відслоненні; попереднє визначення фацій, виділення трансгресивних і регресивних інтервалів; за потреби – опробування порід на різні види аналізів.

Під час камерального етапу розробляємо систему умовних позначень літогенетичних типів, визначаємо умови утворення, виконуємо різноманітні графічні роботи, а саме: побудову колонок літогенетичних типів по кожній локації і попереднє виділення фацій та циклітів різного порядку; побудову літологогенетичних профілів для зіставлення розрізів; простеження витриманості їх на площі; встановлення зон переходів; визначення латерального поширення фацій; встановлення циклічності; створення різноманітних місцевих і регіональних моделей геологічної будови за циклостратиграфічними даними: узагальнюючих колонок, кореляційних схем, літолого-фаціальних карт, шкали циклічності.

Обов'язковим етапом є лабораторне опрацювання матеріалу. Виконуються гранулометричний аналіз, визначення мінерального складу порід, петрографічні дослідження, аналіз карбонатності та вмісту органічної речовини. Для уточнення віку відкладів використовують біостратиграфічні методи, зокрема дослідження форамініфер, молюсків, нанопланктону та інших викопних організмів, які є важливими стратиграфічними індикаторами неогену Поділля.

Важливою складовою методики є складання дата-сетів і виконання типізації літогенотипів, розрізів, фацій, циклітів; уніфікація їхніх ознак і створення їхніх стандартизованих характеристик з виділенням еталонних розрізів.

Виділення циклітів дозволяє реконструювати зміни рівня палеобасейну, визначити умови осадконакопичення та простежити просторові закономірності розвитку неогенових відкладів Поділля. Отримані результати можуть бути співставлені із регіональними стратиграфічними схемами Центрального Паратетису та Міжнародною стратиграфічною шкалою. Методика циклостратиграфічних досліджень неогенових відкладів Поділля ґрунтується на комплексному підході, який поєднує польові спостереження, лабораторні дослідження, біостратиграфічний аналіз, сучасні цифрові технології та геоінформаційне моделювання. Такий підхід дозволяє детальніше

реконструювати історію розвитку неогенового басейну, уточнити стратиграфічне положення окремих товщ і підвищити ефективність регіональних геологічних досліджень.

Іваніна, А. В. (2026). Стандартизована характеристика циклостратиграфічних підрозділів міоцену Поділля. *Палеонтологічний збірник*, 58, 111–124. <https://doi.org/10.30970/pal.58.9>

Радзівілл, А. Я. (Ред.). (2007). *Кореляція карбонових вугленосних формацій Львівсько-Волинського і Люблінського басейнів*. Київ.

УДК 551.782 (477.8)

**УМОВИ СЕДИМЕНТАЦІЇ  
МІОЦЕНОВИХ ВІДКЛАДІВ ПЕРЕДКАРПАТТЯ  
(БОРИСЛАВСЬКО-ПОКУТСЬКИЙ ТА САМБІРСЬКИЙ ПОКРИВИ)**

**Марія КУЛЯНДА**

Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, Львів, Україна  
e-mail: mary.kulyanda@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0003-1725-4912>

**SEDIMENTATION CONDITIONS OF MIOCENE DEPOSITS  
IN THE PRE-CARPATHIAN REGION  
(BORYSLAV-POKUTTYA AND SAMBIR NAPPE)**

**Maria KULYANDA**

Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals  
of the National Academy of Sciences of Ukraine, Lviv, Ukraine

Стратиграфічний розріз міоценових молас Бориславсько-Покутського покрову складають поляницька (пізній егер – початок отнангу) і воротищенська (егер–карпат, чи початок бадену) світи, Самбірського – стебницька (отнанг–баден), балицька (карпат – початок пізнього бадену) та бережницька (кінець середнього–пізній міоцен). За літо- та біостратиграфічними даними ці підрозділи мають різко діахронні межі (Андреева-Григорович та ін., 2011).

Умови седиментації міоценових відкладів Передкарпаття досліджувалися вченими у попередні роки (таблиця). М. Я. Серова (Серова, 1955), І. В. Венглінський та В. А. Горецький (Венглинский & Горецкий, 1979) відтворили палеосередовище у міоценовий час на різних етапах розвитку Передкарпатського прогину. На їхню думку, міоценові відклади регіону формувались загалом у мілководному басейні, який періодично зазнавав ізоляції. В олігоцені – ранньому міоцені відклади космацької (зараз поляницької) та нижньої соленосної (зараз воротищенської) світ утворились внаслідок поступового розмежування і засолення басейну. На думку М. Я. Серової, відклади стебницької світи (ранній міоцен) формувались в умовах континентального значно опрісненого басейну. Накопичення відкладів нижньої частини чаплинської світи (зараз балицька світа нижнього – середнього міоцену) відбувалось при розширенні і прогинанні басейну. І. В. Венглінський та В. А. Горецький вважали, що відклади стебницької і балицької світ (нижній міоцен: отнанг–карпат) утворились при поступовому розширенні моря, яке сприяло утворенню лагунних

**Зіставлення стратиграфічних схем і відтворення умов седиментації міоценових відкладів Передкарпаття (від 1955 р. дотепер)**

|            |          |                  | (Сорова, 1955)          |                                                                      |                                | (Венглінський, Горещкий, 1979)                                       |                                                               |                                    | (Андрєєва-Григоро-<br>вич та ін., 2011) |                                                                                     |                      | (Кулянда, 2017,<br>2019, 2023)                                     |                                                                    |                   |                                                                                                 |            |                                                                 |                                              |                                          |            |             |            |             |            |            |             |            |             |            |             |            |             |
|------------|----------|------------------|-------------------------|----------------------------------------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|------------------------------------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|
|            |          |                  | Передкарпатський прогин |                                                                      |                                | Передкарпатський прогин                                              |                                                               |                                    | Передкар-<br>патський<br>прогин         |                                                                                     |                      | Умови<br>утворення                                                 |                                                                    |                   |                                                                                                 |            |                                                                 |                                              |                                          |            |             |            |             |            |            |             |            |             |            |             |            |             |
| Відділ     | Ярус     | Світа            | Умови<br>утворення      | Ярус                                                                 | Світа,<br>підсвіта,<br>верстви | Умови<br>утворення                                                   | Бориславсько-<br>Покутська зона                               | Внутріш-<br>ня зона                | Світа                                   | Борис-<br>лавсько-<br>Покутсь-<br>кий пок-<br>рив                                   | Світа                | Самбір-<br>ський<br>покрив                                         |                                                                    |                   |                                                                                                 |            |                                                                 |                                              |                                          |            |             |            |             |            |            |             |            |             |            |             |            |             |
| Міоцен     | Тортон   | Сармат           | Регресія моря           | Сармат                                                               | Дашав-<br>ська                 | Зміна морсько-<br>го режиму на<br>солонуватовод-<br>ний              | Борис-<br>лавсь-<br>кий<br>суб-<br>покрив                     | Рунгур-<br>ський<br>субпокр-<br>ив | Самбір-<br>ський<br>покрив              |  | Бережницька<br>світа | Морський<br>басейн.<br>Внутріш-<br>ній шельф                       |                                                                    |                   |                                                                                                 |            |                                                                 |                                              |                                          |            |             |            |             |            |            |             |            |             |            |             |            |             |
|            |          | Чаплицька        | Верхня<br>соленосна     | Широка<br>трансгресія                                                | Косівська                      | Скорочення<br>басейну. Утво-<br>рення окремих<br>опріснених<br>лагун | Паннон                                                        | Рошинітаські<br>верстви            | Березицька<br>світа                     |                                                                                     |                      |                                                                    | Морський<br>басейн.<br>Внутріш-<br>ній шельф                       |                   |                                                                                                 |            |                                                                 |                                              |                                          |            |             |            |             |            |            |             |            |             |            |             |            |             |
|            |          |                  |                         |                                                                      |                                |                                                                      |                                                               |                                    |                                         |                                                                                     |                      |                                                                    |                                                                    | Клокучин-<br>ські | Трансгресія<br>моря. Оптимал-<br>ний гідрологіч-<br>ний режим пов-<br>носолоненого ба-<br>сейну | Сармат     | Березицька<br>світа                                             | Морський<br>басейн.<br>Внутріш-<br>ній шельф |                                          |            |             |            |             |            |            |             |            |             |            |             |            |             |
|            |          |                  |                         |                                                                      |                                |                                                                      |                                                               |                                    |                                         |                                                                                     |                      |                                                                    |                                                                    | Коломий-<br>ські  |                                                                                                 |            |                                                                 |                                              |                                          |            |             |            |             |            |            |             |            |             |            |             |            |             |
|            | Баден    | Косівська        | Прутські                | Вербов-<br>ецькі                                                     | Тираська                       | Ізоляція басей-<br>ну, розчлену-<br>вання його на<br>окремі лагуни   | Баден                                                         | Засорські<br>конгломерати          | Березицька<br>світа                     | Морський<br>басейн.<br>Внутріш-<br>ній шельф                                        |                      |                                                                    |                                                                    |                   |                                                                                                 |            |                                                                 |                                              |                                          |            |             |            |             |            |            |             |            |             |            |             |            |             |
|            |          |                  |                         |                                                                      |                                |                                                                      |                                                               |                                    |                                         |                                                                                     | Богородчан-<br>ська  | Трансгресія<br>моря                                                | Карпат                                                             | Балицька<br>світа | Морський<br>басейн.<br>Середній<br>шельф                                                        |            |                                                                 |                                              |                                          |            |             |            |             |            |            |             |            |             |            |             |            |             |
|            |          |                  |                         |                                                                      |                                |                                                                      |                                                               |                                    |                                         |                                                                                     |                      |                                                                    |                                                                    |                   |                                                                                                 | Стебницька | Поступове розши-<br>рення моря. Нор-<br>мально-морські<br>умови | Стебницька<br>світа                          | Морський<br>басейн.<br>Середній<br>шельф |            |             |            |             |            |            |             |            |             |            |             |            |             |
|            | Олігоцен | Аквітан-Бурдигал | Нижня соленосна         | Замкнутий, засо-<br>лонений басейн.<br>Безперервне<br>прогинання     | Егебурґ                        | Воротницька                                                          | Розмежовуван-<br>ня басейну з<br>прогресуючим<br>засолоненням | Егебурґ                            | Воротницька<br>світа                    | Стебни-<br>цька сві-<br>та                                                          | Воротниць-<br>ка     | Морський<br>басейн з глибинами<br>середнього і внутрішнього шельфу | Морський<br>басейн з глибинами<br>середнього і внутрішнього шельфу |                   |                                                                                                 |            |                                                                 |                                              |                                          |            |             |            |             |            |            |             |            |             |            |             |            |             |
|            |          |                  |                         |                                                                      |                                |                                                                      |                                                               |                                    |                                         |                                                                                     |                      |                                                                    |                                                                    | Слобідська        | Воротницька                                                                                     | Слобідська | Воротницька                                                     | Слобідська                                   | Воротницька                              | Слобідська | Воротницька | Слобідська | Воротницька | Слобідська |            |             |            |             |            |             |            |             |
|            |          |                  |                         |                                                                      |                                |                                                                      |                                                               |                                    |                                         |                                                                                     |                      |                                                                    |                                                                    |                   |                                                                                                 |            |                                                                 |                                              |                                          |            |             |            |             |            | Слобідська | Воротницька | Слобідська | Воротницька | Слобідська | Воротницька | Слобідська | Воротницька |
| Слобідська |          |                  |                         |                                                                      |                                |                                                                      |                                                               |                                    |                                         |                                                                                     |                      |                                                                    |                                                                    |                   |                                                                                                 |            |                                                                 |                                              |                                          |            |             |            |             |            |            |             |            |             |            |             |            |             |
| Егер       |          | Пояницька        | Верхня соленосна        | Формування від-<br>кладів в прогині<br>внаслідок зносу<br>матеріалу. | Егер                           | Слобідська                                                           | Розмежовуван-<br>ня басейну з<br>прогресуючим<br>засолоненням | Егер                               | Воротницька<br>світа                    | Слобідська<br>світа                                                                 | Воротницька<br>світа | Морський<br>басейн з глибинами<br>середнього і внутрішнього шельфу | Морський<br>басейн з глибинами<br>середнього і внутрішнього шельфу |                   |                                                                                                 |            |                                                                 |                                              |                                          |            |             |            |             |            |            |             |            |             |            |             |            |             |
|            |          |                  |                         |                                                                      |                                |                                                                      |                                                               |                                    |                                         |                                                                                     |                      |                                                                    |                                                                    | Слобідська        | Воротницька                                                                                     | Слобідська | Воротницька                                                     | Слобідська                                   | Воротницька                              | Слобідська | Воротницька | Слобідська | Воротницька | Слобідська |            |             |            |             |            |             |            |             |
|            |          |                  |                         |                                                                      |                                |                                                                      |                                                               |                                    |                                         |                                                                                     |                      |                                                                    |                                                                    |                   |                                                                                                 |            |                                                                 |                                              |                                          |            |             |            |             |            | Слобідська | Воротницька | Слобідська | Воротницька | Слобідська | Воротницька | Слобідська | Воротницька |

і нормально-морських утворень відповідних світ. В ранньому бадені трансгресія моря ще більше поширилась і сприяла розвитку відкладів верхньої частини чаплинської (зараз богородчанської) світи. На початку пізнього бадену відбулась ізоляція басейну і розчленування його на окремі лагуни, що призвело до нагромадження евапоритів верхньої соленосної (тираської) світи. В кінці пізнього бадену відбулась ще одна широка трансгресія моря, яка сприяла утворенню покутської (зараз вербовецьких і прутських верств косівської

світи). Скорочення басейну, опріснення й утворення окремих лагун призвело до формування коломийських і клокучинських верств косівської світи. В сарматі відбулася регресія моря і зміна морського режиму на солонувато-водний, який призвів до утворення відкладів дашавської світи.

У чинній на сьогодні схемі (Андреева-Григорович та ін., 2011) у відкладах найвищої частини розрізу молас Самбірського покриву було виділено бережницьку світу, яка містить морську асоціацію нанопланктону. У попередніх схемах відклади бережницької світи відносили до косівської та дашавської світ, які розвинені тільки в Зовнішній зоні Передкарпатського прогину.

Останніми роками на основі проведеного екологічного аналізу асоціацій форамініфер з поляницької, воротищенської, стебницької, бережницької світ, розвинених на північному заході Бориславсько-Покутського та Самбірського покривів, було встановлено, що відклади світ накопичувались в морському басейні в умовах внутрішнього та середнього шельфу (див. таблицю).

- Андреева-Григорович, А. С., Ващенко, В. О., Гнилко, О. М., & Трофимович, Н. А. (2011). Стратиграфія неогенових відкладів Українських Карпат та Передкарпаття. *Тектоніка і стратиграфія*, 28, 67–77.
- Венглинский, И. В., & Горецкий, В. А. (1979). Стратотипы миоценовых отложений Вольно-Подольской плиты, Предкарпатского и Закарпатского прогибов. Киев: Наукова думка.
- Серова, М. Я. (1955). Стратиграфия и фауна фораминифер миоценовых отложений Предкарпатья. В *Материалы по биостратиграфии Западных областей УССР* (с. 261–451). Москва: Госгеолтехиздат.

УДК 553.98:551.72(477.8)

**КОРЕЛЯЦІЯ КЕМБРІЙСЬКИХ ВІДКЛАДІВ  
ОСАДОВОГО ЧОХЛА ВОЛИНО-ПОДІЛЛЯ  
ЯК ОСНОВА ДЛЯ ПОШУКІВ  
НЕАНТИКЛІНАЛЬНИХ ПОКЛАДІВ ВУГЛЕВОДНІВ**

**Ярослав ЛАЗАРУК<sup>а</sup>, Галина ГРИВНЯК<sup>б</sup>, Світлана ГАРАСИМ<sup>с</sup>**

Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, Львів, Україна

<sup>а</sup> e-mail: lazaruskjaroslav@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0002-2016-3424>

<sup>б</sup> grivnyak77@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0006-0732-9978>

<sup>с</sup> Svitlanag86@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0005-7397-9971>

**CORRELATION OF CAMBRIAN DEPOSITS  
OF THE VOLYN-PODILLIA SEDIMENTARY COVER  
AS A BASIS FOR THE EXPLORATION  
OF NON-ANTICLINAL HYDROCARBON ACCUMULATIONS**

**Yaroslav LAZARUK<sup>а</sup>, Halyna HRYVNYAK<sup>б</sup>, Svitlana HARASYM<sup>с</sup>**

Institute of Geology & Geochemistry of Combustible Minerals  
of the NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine

Волино-Подільська нафтогазоносна область є одним із перспективних, але недостатньо освоєних нафтогазоносних регіонів України. У її межах відкрито два промислові газові родовища – Локачинське та Великомоствське,

продуктивність яких пов'язана з теригенними відкладами девонського віку. Водночас численні прояви нафтогазоносності у відкладах нижнього палеозою, зокрема підвищений вміст вуглеводневих газів у пластових водах, газонасичені пласти за даними геофізичних досліджень та незначні припливи вільного газу під час випробування окремих свердловин, свідчать про перспективність кембрійського комплексу.

Територія досліджень охоплює Волинську, Тернопільську та Чернівецьку області, де палеозойські відклади закономірно зменшуються у потужності із заходу на схід і поступово виклинюються до західної окраїни кристалічного щита Східноєвропейської платформи. Особливістю геологічної будови регіону є переважання моноклінального залягання осадового чохла та відсутність значних замкнених структурних форм. Це обмежує можливості пошуку традиційних антиклінальних покладів і потребує застосування нових підходів до прогнозування скупчень вуглеводнів.

Перспективними об'єктами пошуку є теригенні відклади кембрію, які характеризуються сприятливими колекторськими властивостями. Вони перекриваються непроникними відкладами ордовику та силуру зі значною стратиграфічною і кутовою незгідністю. Така геологічна ситуація створює передумови для формування стратиграфічно екранованих пасток на монокліналі. Основою їх прогнозування є достовірна кореляція пластів-колекторів і пластів-флюїдотривів, оскільки саме просторове співвідношення цих елементів визначає положення потенційних покладів.

Кореляція палеозойських відкладів Волино-Поділля проводилася багатьма дослідниками. Найбільш відомою є схема Д. М. Дриганта, створена на основі комплексного аналізу палеонтологічних матеріалів (коноданти, форамініфери) та каротажних даних (Дригант, 2000). Вона стала важливим етапом у вивченні палеозойської історії розвитку південно-західної окраїни Східноєвропейської платформи. Проте, запропонована модель безперервності кембрійсько-нижньоордовіцького розрізу та відносної стабільності їхніх товщин у напрямку схід-захід не повністю узгоджується із сучасними геолого-геофізичними матеріалами.

Вважаємо, що В. В. Кір'янов у цих питаннях був ближче до істини, склавши свої схеми кореляції на 30 років раніше (Кір'янов, 1969). Базуючись на результатах вивчення форамініфер, а також залишків акритарх і трилобітів, він визначив, що між відкладами кембрію і ордовику-силуру існує суттєва регіональна перерва з помітним неузгодженням у заляганні пластів, а відклади кембрію суттєво збільшуються у товщині в напрямку Передкарпатського прогину. Його ідеї зіставлення розрізів кембрію між свердловинами згодом поклали за основу структурних побудов І. Б. Вишняков, М. Я. Вуль, І. О. Гоник.

Для виконання досліджень нами використано матеріали стандартного каротажу, гамма-каротажу, нейтронного гамма-каротажу, кавернометрії, а також часові розрізи, отримані фахівцями ЗУГРЕ за результатами сейсморозвідувальних робіт методом спільної глибинної точки. Ув'язка часових розрізів зі стратиграфічними розрізами свердловин здійснювалася за даними вертикального сейсмопрофілювання.

Таким чином, взявши за основу результати стратиграфічних розчленувань геологічного розрізу згаданими авторами та застосувавши комплекс

методів промислової геофізики і сейсморозвідки, ми спробували уточнити кореляцію складових частин кембрійських відкладів Волино-Поділля. Зіставлення розрізів виконане за такою схемою: спочатку корелювалися розрізи свердловин вздовж профілів, орієнтованих з північного заходу на південний схід, у напрямку поступового скорочення товщини відкладів кембрію, а потім здійснювалася ув'язка виділених пачок поперечними профілями. Отже, всі кореляційні ходи виявились замкненими, що дало змогу уникнути помилок у зіставленні розрізів. Це важливий момент у кореляції розрізів, оскільки часто внаслідок латеральних літологічних змін досить подібні за геофізичними характеристиками інтервали розрізів часто виявляються нетотожними за віком. Кореляція по замкнених профілях свердловин дає змогу гарантовано уникнути таких помилок. Цей метод добре зарекомендував себе при кореляції продуктивних горизонтів карбону (Кельбас & Лазарук, 2013).

За репери вибрані найбільш диференційовані і помітні в каротажному записі ділянки розрізу. Як правило, це покрівлі високоомних піщаних пачок, перекритих низькоомними глинистими пластами. В міру можливого ми старалися вибирати ті ж репери і ті ж пачки, якими користувалися попередні дослідники. За їхнім баченням ми прийняли розчленування розрізу кембрію знизу вгору на горизонти від К-1 до К-5. В цілому товщина відкладів кембрію зменшується з північного заходу на південний схід. У цьому ж напрямку пачки кембрію поступово від молодших до древніших виклинюються під передордовичьку регіональну перерву: спочатку відклади горизонту К-5 і К-4, а потім К-3. Таким чином з розрізу випадає близько 500 м відкладів.

Встановлено, що у західній частині території досліджень, зокрема між свердловинами Перемишляни-1 та Бережани-1, положення одновікових пластів суттєво відрізняється від попередніх схем кореляції. Наприклад, для горизонту К-3 різниця досягає 200 м. Це свідчить про значно більші градієнти виклинювання кембрійських пластів, ніж передбачалося раніше. Градієнт виклинювання пластів на ділянці між двома згаданими свердловинами суттєво більший. Відповідно, виходи піщаних пластів під поверхню передордовичької перерви матимуть інше просторове положення. Це положення має принципове значення для прогнозування та пошуків стратиграфічно екранованих покладів нафти й газу.

Таким чином, комплексне використання матеріалів каротажу та сейсморозвідки дозволило уточнити будову кембрійського комплексу Волино-Поділля та запропонувати новий варіант його кореляції. Отримані результати можуть бути використані для підвищення ефективності прогнозування перспективних об'єктів і планування подальших пошуково-розвідувальних робіт у межах Волино-Подільської нафтогазоносної області.

Дригант, Д. М. (2000). Нижній і середній палеозой Волино-Подільської окраїни Східно-Європейської платформи та Передкарпатського прогину. *Наукові записки Державного природничого музею*, 15, 24–130.

Кельбас, Б. І., & Лазарук, Я. Г. (2013). *Кореляція та уніфікація продуктивних горизонтів середнього карбону Дніпровсько-Донецької западини*. ІГГК НАН України.

Кір'янов, В. В. (1969). Схема стратиграфії кембрійських відкладів Волині. *Геологічний журнал*, 29(5), 40–59.

## **ДОКАЙНОЗОЙСЬКА ГЕДИНАМІКА ЗЧЛЕНУВАННЯ СХІДНОЄВРОПЕЙСЬКОЇ ПЛАТФОРМИ І КАРПАТ**

**Володимир ЛОСІВ, Михайло ЯРЕМОВИЧ**

ТОВ «Науково-виробниче технічне підприємство «Геологічні технології»,  
Львів, Україна  
e-mail: vmlosiv@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0006-5010-116X>  
e-mail: geoltechnologies@gmail.com

## **PRE-CENOZOIC GEODYNAMICS OF THE JUNCTION BETWEEN THE EASTEUROPEAN PLATFORM AND THE CARPATHIANS**

**Volodymyr LOSIV, Mykhailo YAREMOVICH**

LTD «Scientific and Production Technical Enterprise «Geological Technologies»,  
Lviv, Ukraine

Геодинамічними умовами та процесами визначаються види і характер поширення корисних копалин у будь-якому регіоні. Тому умовою ефективного прогнозування корисних копалин є розробка на основі максимально повної інформації про його геологічну будову і сучасних поглядів найбільш вірогідної його геодинамічної моделі.

Ми торкнемося докайнозойського етапу розвитку регіону.

### **ІСНУЮЧА СИТУАЦІЯ ТА ЇЇ ОЦІНКА**

1. Всі Державні геологічні карти масштабу 1 : 200 000 зчленування Східноєвропейської платформи (СЄП) і Карпат, включаючи останні опубліковані [3,4], трактують регіон з позицій давно застарілої геосинклінальної парадигми («фіксизму»).

2. Всі «фіксисты», і практично всі «мобілісти», дотримуючись вкоріненого стереотипу, між СЄП і Карпатами клином «втискають» Західноєвропейську платформу (ЗЄП).

3. За віком консолідації фундаменту, пряма інформація про який часто відсутня, вони виділяють у ній Розтоцьку (шир. 45 км), Рава-Руську (шир. 20 км), Коханівську (шир. 17 км), Лежайську зони (блоки) різновікової складчастості.

4. І ті, і другі, західною межею СЄП вважають зону «Тейсейре-Торнквіста» (ТТ) без чіткого пояснення, що вона собою являє і де саме проходить [5, 6].

5. Розгляд регіону з позицій тектоніки плит зводиться до пояснення складчасто-насувної структури Карпат через підсування під них ЗЄП+СЄП, та навіть через континентальну субдукцію, ігноруючи зсувні зміщення по зоні ТТ [6].

6. З описів Глушка В. В. та ін. [5] розвитку вищевказаних зон, як рифтогенних структур, місця для ЗЄП не залишається.

7. Погляди, де вся територія, що відноситься до ЗЄП, представляється як роздроблена окраїна СЄП, не обґрунтовані [6].

8. На відсутність підстав виділення ЗЄП вказував Ступка О. С. [7], який розглядав цю територію, як «мікроплитний структурний ансамбль з мозаїчним стилем будови», а зону ТТ – як частину глобальної полірифтової системи,

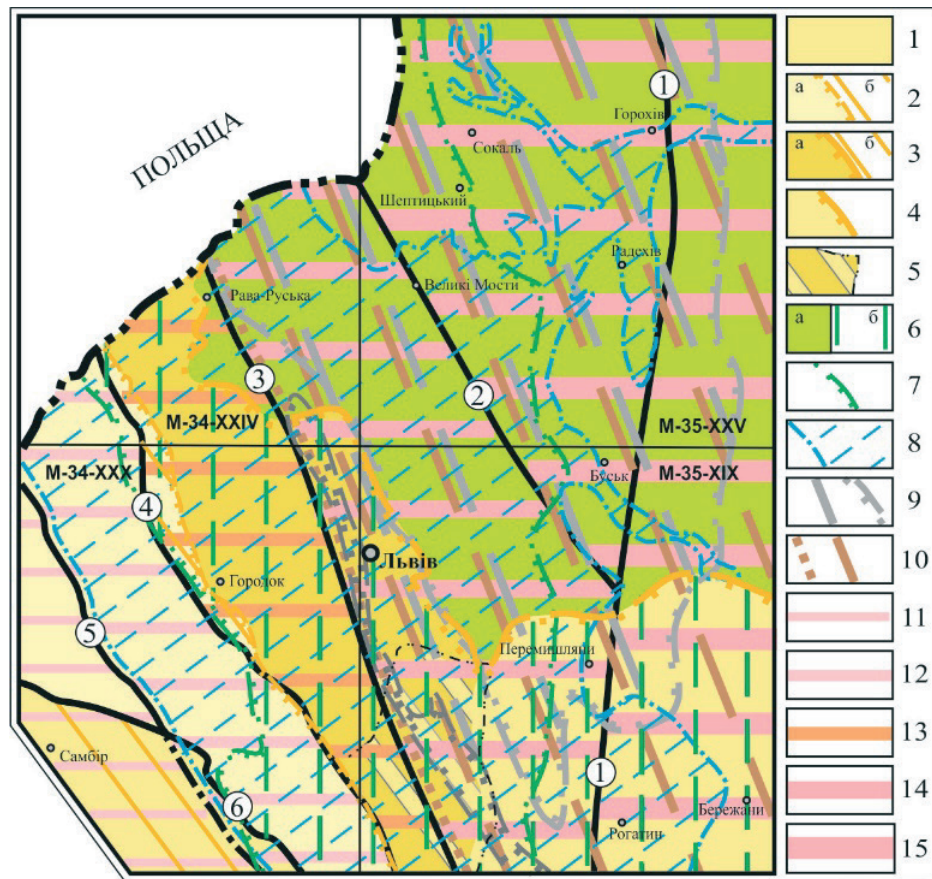


Рис. 1. Геолого-структурні (геодинамічні) одиниці зчленування СЄП і Карпат:  
 1 – Зовнішні Карпати (нижній неоген); 2 – Передкарпатський прогин (ПКП) – нижній неоген;  
 3 – Городоцько-Розтоцька накладена структурно-формаційна зона\* (СФЗ) – середній палеоген – нижній неоген: а) на поверхні, б) перекрита; 4 – Опільсько-Подільська накладена СФЗ\* – нижній неоген; 5 – територія зчленування Городоцько-Розтоцької і Опільсько-Подільської СФЗ\*; 6 – крейдові відклади: а) на поверхні, б) перекриті; 7 – контур Львівсько-Люблінського накладеного прогину за Герасімов Л. С., 2004, 2009 (крейда); 8 – об'єднані Борятинський дотрансляційний прогин (нижня–середня юра) і Яворівський перекиривний посттрансляційний прогин – середня–верхня юра; 9–10 – Львівський палеозойський прогин: 9 – середній–верхній девон, 10 – карбон; 11–15 – перекриті досередньодевонські структури: 11 – Лежайський терейн (байкаліди?); 12 – Коханівський терейн (салаїриди); 13 – Рава-Руський блок (каледоніди); 14 – Розтоцький блок; 15 – країна СЄП. Регіональні розломи: 1 – Рогатинський, 2 – Белз-Балучинський, 3 – Рава-Руський, 4 – Городоцький, 5 – Краковецький, 6 – Скибовий

що виникла в результаті розпаду Пангеї (320–200 млн років) і взаємодії палеоконтинентів Гондвани, Лавразії, Балтики.

#### НАШЕ БАЧЕННЯ (рисунок).

1. Всі наші побудови ґрунтуються на терейновій тектоніці плит.
2. З аналізу розрізів палеозойських відкладів країни СЄП і Розтоцького блоку (байкаліди у фундаменті – лише припущення) витікає висновок – Розтоцький блок завжди був «припаяним» до краю СЄП і є її роздробленою країною. Відповідно, прив'язка сюди зони ТТ [6] не логічна.

\* Структури, виділені нами.

3. Виходячи зі схожості розрізів досередньодевонських відкладів, Рава-Руський блок, можливо, може бути частиною розробленої країни СЄП, але, враховуючи особливості тут цих розрізів, активізованою.

4. Відсутність у його полі середньо-верхньодевонських – нижньо-середньокарбонів відкладів може вказувати його «високе стояння» відносно Львівського палеозойського прогину в період заповнення останнього. Не виключена і відсутність його тут в той час – він міг бути «трансльований» сюди по Рава-Руському розлому після карбону до келовею. Тобто, може бути трансляційним терейном.

5. Через суттєві відмінності розрізів Коханівського і Рава-Руського блоків, ми вважаємо, що Коханівський блок є трансляційним терейном, лівозсувна «трансляція» якого вздовж Городецького розлому (один розломів зони ТТ) до сучасного місцезнаходження відбулася в середній юрі – на межі бату–келовею.

6. На час «трансляції» на його поверхні існував ранньо-середньоярський (докеловейський) Бортятинський прогин\*.

7. Лежайський блок, припускаємо, також є трансляційним терейном, який був причленований до Коханівського терейну і ковзав по Краковецькому розлому вздовж його краю на південний схід.

8. У процесах лівозсувних зміщень, імовірно, був задіяний весь Рава-Руський блок, який знаходився між відносно жорсткою країною СЄП (Розтоцьким блоком) і колажем Коханівського і Лежайського терейнів. При цьому, він був розколотий субпаралельними розломами на серію смуговидних блоків, різнонаправлені зміщення по яких продовжуються досі. Мініземлетрус, що відбувся 25.07.2026 р. поблизу м. Пустомити, на нашу думку, імовірно, приурочений до одного з таких розломів – Верещицько-Ставчанського\* [6].

9. На цій підставі ми вважаємо, що зона ТТ співпадає зі смугою Рава-Руського блоку.

23. Ознаки рифтогенних процесів (розтягу) на розглянутій території не фіксуються. Всі зсувні зміщення по розломах в зоні ТТ, відбувалися в умовах поперечного стиснення [1] – транспресії.

10. Важливо зазначити, що мова йде про відносні взаємні переміщення суміжних блоків (терейнів), виходячи з сучасного положення країни СЄП з Розтоцьким блоком включно. Тобто, цілком можливо, що відбувалося зміщення країни СЄП на північний захід, при умовно фіксованому положенні Коханівського терейну.

11. В келовеї–оксфордї, після трансляції Коханівського терейну, сформувався Яворівський прогин\*, поширений від Коханівського терейну до краю Литовезької зони традиційної СЄП, у якому накопичилися «посттрансляційні» перекивні відклади. В кімеріджі в ньому оформилися Опарська і Підлубенська фаціальні зони.

12. Не виключено, що і Бортятинський, і Яворівський, прогини поширювалися і на Лежайський терейн, де їх відклади в подальшому були еродовані.

13. Відклади Яворівського прогину наростили накопичення, імовірно успадкованого, Львівсько-Люблінського крейдового прогину, поширені на

---

\* Структури, виділені нами

заході Розтоцького блоку, у Рава-Руському блоці і дуже обмежено в полі Коханівського терейну.

14. В кінці пізньої крейди – на початку раннього палеогену відбулося здіймання окраїни СЄП, включаючи Розтоцький блок, а також Рава-Руського блоку, що призвело до денудаційних умов - на їх території відсутні накопичення цього періоду.

Запропонована модель докайнозойського розвитку регіону дає підстави для перегляду його перспектив на пошуки корисних копалин. До зони ТТ приурочене різке зростання теплового потоку до 60–80 МВт<sup>х</sup>м<sup>2</sup>8. Тобто, імовірно, зони зсувних розломів в ній, а скоріше всього, зони пов'язаних з ними сколових тріщин, а також місця перетину цих розломів з поперечними розломами, що виникли пізніше, є каналами теплових потоків, а також можливими каналами міграції термальних вод та вуглеводнів. Наявність перших зафіксована в околицях Львова в зоні Рава-Руського розлому та в інших місцях. Принципово важливо, що процеси зсувних зміщень можуть супроводжуватися дилатансним нагнітанням, що часто суттєво впливає на міграцію вуглеводнів від нафтогазоматеринських порід до колекторів [2].

1. Вишняков, И. Б., & Дулуб, В. Г. (1990). Терригенно-карбонатные формации. Юра – нижний мел. В *Геотектоника Вольно-Подольи* (с. 185–187). Киев: Наукова думка.
2. Высоцкий, И. В., & Кучерук, Е. В. (1988). *Нефтегазоносность орогенных поясов* (Итоги науки и техники. Серия «Месторождения горючих ископаемых», Т. 16). Москва: ВИНТИ.
3. Герасимов, Л. С. та ін. (2004). *Державна геологічна карта України. Масштаб 1 : 200 000. Аркуш М-34-ХVIII (Рава-Руська), М-34-ХIII (Червоноград), М-34-ХIX (Львів)*. Київ.
4. Герасимов, Л. С. та ін. (2005). *Державна геологічна карта України. Масштаб 1 : 200 000. Аркуші: М-34-ХХIII (Пшемисль), М-34-ХХIV (Дрогобич)*. Київ.
5. Глушко, В. В. и др. (1991). Рифтогены и нефтегазоносность юго-западного края Восточно-Европейской платформы и ее обрамления. В *Рифтогены и полезные ископаемые* (с. 15–23). Київ.
6. Крупський, Ю. З., & Вислоцька, О. І. (2014). Дослідження простягання зони Тейссейре-Торнквіста (ТТЗ) на території Західної України. *Геодинаміка*, 1(16), 34–42.
7. Лосів, В., Яремович, М., & Іваніна, А. В. (2024). Геологічна будова Розточчя – стратиграфія, тектоніка, геодинаміка. У М. М. Павлунь (Ред.), *Проблеми геології України: збірник наукових праць* (с. 52–57). Львів.
8. Ступка, О. (2018). «Молоді платформи» – традиційні уявлення і реальність (геодинамічний аспект). *Геодинаміка*, 1(24), 51–59. <https://doi.org/10.23939/jgd2018.01.051>

## **ЗОНА ЗЧЛЕНУВАННЯ ВНУТРІШНІХ І ЗОВНІШНІХ КАРПАТ ЗА ГЕОФІЗИЧНИМИ ПОЛЯМИ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ**

**Валентин МАКСИМЧУК<sup>a</sup>, Сергій АНІКЕЄВ<sup>b</sup>**

Карпатське відділення Інституту геофізики ім. С. І. Субботіна НАН України,  
Львів, Україна, e-mail: cbigph.nanu@gmail.com

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0000-0003-3954-6521>; <sup>b</sup> <https://orcid.org/0000-0002-7377-7326>

## **THE JUNCTION ZONE BETWEEN THE INNER AND OUTER CARPATHIANS BASED ON GEOPHYSICAL FIELDS WITHIN UKRAINE**

**Valentyn MAKSYMCHUK<sup>a</sup>, Sergiy ANIKEYEV<sup>b</sup>**

Carpathian Branch of Subbotin Institute of Geophysics  
of the NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine

Зона зчленування Внутрішніх і Зовнішніх (Флішових) Карпат переважно ототожнюється із Закарпатським глибинним розломом, який на поверхні представлений Мармароськими і П'єнінськими скелями. За зоною розлому у Зовнішніх Карпатах товщина земної кори різко зростає до 10 км й більше. За останні десятиріччя отримано додаткові дані стосовно глибинної будови Українських Карпат за результатами переінтерпретації геофізичних матеріалів, даних буріння і сейсмічності. На цій основі формуються нові погляди на геолого-тектонічну історію регіону. Зокрема, з точки зору терейнової тектоніки головними елементами Внутрішніх Карпат є кристалічні масиви, які є північно-східними виступами двох мікроконтинентальних терейнів (мега-блоків) Алькапа та Тися-Дакія. Терейни обмежені від Зовнішніх Карпат мезозойсько-кайнозойськими П'єнінськими та Примармароськими сутурами (Гнилко, 2023).

Для дослідження зони зчленування Внутрішніх та Зовнішніх Українських Карпат проведено аналіз структури залишкових гравітаційних аномалій, які отримано у результаті вилучення з вихідного гравітаційного поля регіонального фону (за фон прийнято осереднення вихідного поля радіусом 10 км) (Максимчук та ін., 2023), сейсмогеологічного розрізу (Verpakhovska et al., 2018) та густинної моделі (Anikeyev et al., 2022) по профілю Pancake, а також структурно-тектонічних карт та даних про сейсмічну активність регіону.

На карті залишкових гравітаційних аномалій (рис. 1) виділено смугу додатних аномалій (інтенсивністю до  $5 \cdot 10^{-5}$  м/с<sup>2</sup>) шириною від 5–10 км до 20 км. Смуга простягається з північного заходу на південний схід від кордону зі Словаччиною поблизу с. В. Березний до кордону з Румунією поблизу м. Рахів. Межі смуги визначено за лініями високих градієнтів поля, що відмежовують її від від'ємних аномалій північно-східної частини Закарпатського прогину та від від'ємних аномалій Флішових Карпат. Південно-західна межа смуги збігається з лінією Закарпатського розлому за В. М. Щербою (1976). Північно-східна межа смуги корелює з лінією Закарпатського розлому за В. В. Глушко та ін. (1986). На південному сході, на продовженні цієї смуги, виділяється область додатних аномалій, яка охоплює Мармароський масив.

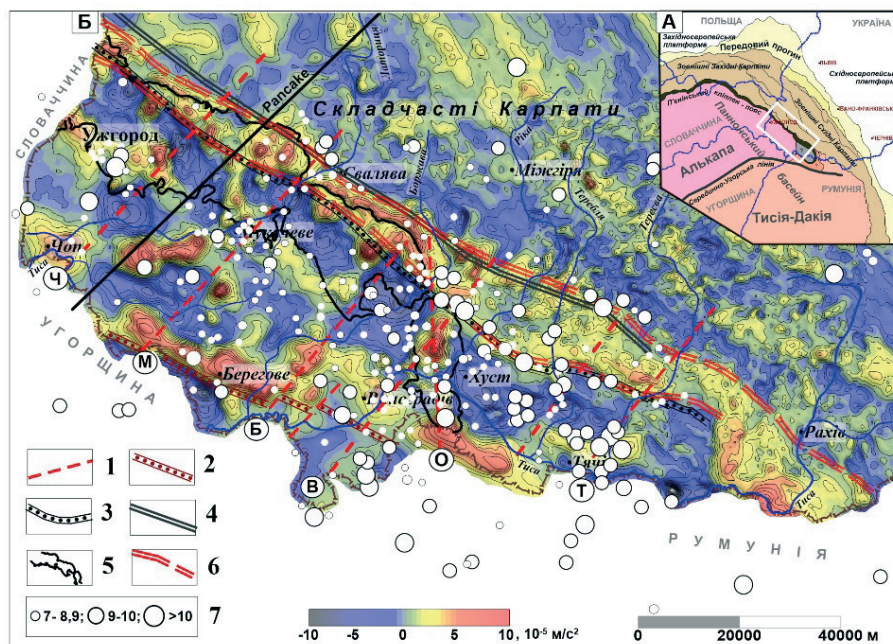


Рис. 1. Елементи розломної тектоніки Закарпатського прогину та епіцентри землетрусів на карті гравітаційних аномалій:

А – територія досліджень (обмежена білим прямокутником) на схемі (Гнилко, 2023). 1 – поперечні розломи: Ч – Чопський, М – Мукачівський (Латорицький), Б – Боржавський, В – Виноградівський, О – Оашський, Т – Тересвянський; 2 – Припаннонський глибинний розлом за гравімагнітними матеріалами; 3 – глибинний розлом (В. М. Щерба); 4 – глибинний розлом (В. В. Глушко та ін.); 5 – Вигорлат-Гутинське вулканічне пасмо; 6 – межі смуги залишкових додатних гравітаційних аномалій; 7 – епіцентри землетрусів за 2001–2024 рр., розподілені за енергетичним класом К

Планове положення додатної смуги при різних радіусах осереднення гравітаційного поля (від 2,5 км до 10 км) практично незмінне, що свідчить про субвертикальність зони зчленування Внутрішніх та Зовнішніх Карпат від поверхні фундаменту до значних глибин. У Внутрішніх Карпатах гіпоцентри землетрусів (рис. 2) розташовані на глибинах від 2–3 км (осадовий покрив) аж до 25–35 км (поверхня Мохо). У Зовнішніх Карпатах глибини гіпоцентрів, як правило, не перевищують 10 км. Аналіз розподілу гіпоцентрів землетрусів Закарпатського прогину та суміжних територій свідчить, що ця зона зчленування є основною сейсмогенеруючою структурою та свого роду бар'єром, що обмежує поширення гіпоцентрів землетрусів на північний схід (див. рис. 1, 2). Підвищеною концентрацією епіцентрів землетрусів характеризуються зони простягання поперечних розломів та вузли їхнього перетину із зоною глибинного Закарпатського (конвергентного) розлому (див. рис. 1). Вочевидь, смуга залишкових додатних гравітаційних аномалій відображає приповерхневі та глибинні неоднорідності зони зчленування Внутрішніх і Зовнішніх Українських Карпат. Проведений аналіз підтверджує думку багатьох дослідників про особливе місце і роль цієї зони в структурі та геодинаміці Українських Карпат.

- Гнилко, О. (2023). Геодинамічні плито-тектонічні умови формування терейну Тися-Дакія, Українські Карпати. *Геологія і геохімія горючих копалин*, 3–4(191–192), 61–73. <https://doi.org/10.15407/ggcm2023.191-192.061>
- Максимчук, В. Ю., Анікеєв, С. Г., Мончак, Л. С., Кудеравець, Р. С., & Пиріжок, Н. Б. (2023). Структурно-тектонічні особливості Закарпатського прогину за даними гравімагнітометрії. *Геофізичний журнал*, 45(6), 102–126. <https://doi.org/10.24028/gj.v45i6.293310>
- Anikeyev, S., Maksymchuk, V., & Pyrizhok, N. (2022). Density model of the earth crust of the Ukrainian Carpathians along the Pancake profile. *Geodynamics*, 2(33), 28–49. <https://doi.org/10.23939/jgd2022.02.028>
- Verpakhovska, A., Pylypenko, V., Yegorova, T., & Murovskaya, A. (2018). Seismic image of the crust on the PANCAKE profile across the Ukrainian Carpathians from the migration method. *Journal of Geodynamics*, 121, 76–87. <https://doi.org/10.1016/j.jog.2018.07.006>

## ПРО ОСОБЛИВОСТІ СУЧАСНОЇ ТА НЕОГЕНОВОЇ ГЕОДИНАМІКИ КАРПАТСЬКОГО РЕГІОНУ УКРАЇНИ

Андрій НАЗАРЕВИЧ<sup>1</sup>, Леся НАЗАРЕВИЧ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Карпатське відділення Інституту геофізики ім. С. І. Субботіна НАН України,  
Львів, Україна

e-mail: nazarevych.a@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-1989-0790>

<sup>2</sup> Інститут геофізики ім. С. І. Субботіна НАН України,

Відділ сейсмічності Карпатського регіону, Львів, Україна

e-mail: nazarevych.l@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-8038-9535>

### ON THE FEATURES OF THE MODERN AND NEOGENE GEODYNAMICS OF THE CARPATHIAN REGION OF UKRAINE

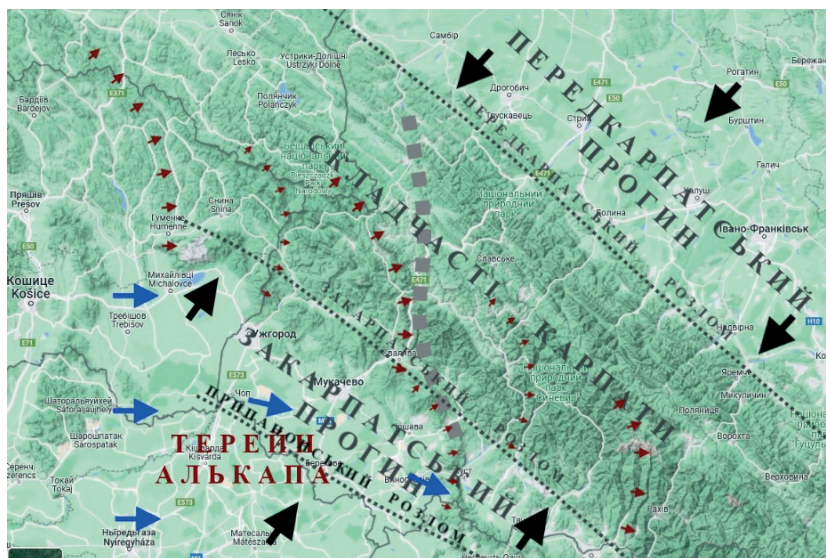
Andriy NAZAREVYCH<sup>1</sup>, Lesya NAZAREVYCH<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Carpathian Branch of S. I. Subbotin name Institute of Geophysics  
of NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine

<sup>2</sup> S. I. Subbotin name Institute of Geophysics of NAS of Ukraine,  
Department of seismicity of Carpathian region, Lviv, Ukraine

У зоні Українських Карпат в альпійський та постальпійський період і в даний час (за даними численних геолого-геофізичних, геодезичних і геоморфологічних досліджень) діють три характерні складові регіонального геодинамічного процесу (рисунок) – альпійська/карпатська, терейнова та астенолітна (А. Назаревич, 2024; А. В. Назаревич & Назаревич, 2002; Kováčiková et al., 2016 та ін.).

Відома, найбільш виражена альпійська/карпатська складова (чорні товсті стрілки на рисунку) пов'язана з глобальним плитово-тектонічним процесом,



Основні складові регіонального геодинамічного процесу в Карпатському регіоні України (пояснення в тексті)

в Карпатському регіоні України виражається у стиску і зміщенні на північний схід земної кори всієї Паннонії і, зокрема, донеогенового фундаменту Закарпатського прогину, витисканні ним різновікових, здебільшого крейдово-палеогенових осадових товщ з наявних тут у цей час акреційних призм і насуванні їх на занурений, рифтоподібний за будовою південно-західний край Східноєвропейської платформи (фундамент Передкарпатського прогину) у вигляді карпатських насувів і складок, вона є основною у формуванні гірської структури Українських Карпат.

Виділена недавно за геодезичними та іншими даними друга – терейнова складова регіонального геодинамічного процесу (сині стрілки на рисунку) проявляється у зміщенні кори Закарпатського прогину на схід (деякими дослідниками визначається як східна ротаційна складова спільного руху терейнів Алькапа і Тися-Дакія) і проявляється в Українських Карпатах рядом меридіональних та меридіонально-дугових структур рельєфу (А. Назаревич, 2024 та ін.). Причиною цієї терейнової тектоніки є те, що у постальпійський час структури терейну Алькапа, затиснуті в районі Альп між структурами мікроплит Адрія та Тірренія з півдня і помітно скошеним на північний схід у районі від Альп до Західних Карпат південним краєм Західноєвропейської платформи, почали витискатися на схід. Туди ж почали витискатися і самі Західні Карпати. Цей процес «терейнового» зміщення на схід чітко відобразився у гірському рельєфі Східних Карпат каскадом субмеридіонально-дугових структур (коричневі стрілки на рисунку), які зафіксували певні етапи поширення на схід відповідних фронтів геомеханічних хвиль стиску кулісоподібно до альпійської складчастості Східних Карпат. Сучасну геодинамічну активність терейну Алькапа описаного типу в цілому, і в Карпатському регіоні України зокрема, нами простежено за даними тектонофізики, геології, космічної геодезії.

Третя складова – астенолітна – спричинена рухом на північний схід одного з горизонтальних конвективних потоків від астеноліта під Паннонією (А. В. Назаревич & Назаревич, 2002), в Карпатському регіоні України вона простежується за неогеновим вулканізмом та формуванням Вигорлат-Гутинського вулканічного пасма, просторовою перебудовою процесів денудації і осадонагромадження у Закарпатському прогині, наявністю зони сильного (до 55–65 км) занурення поверхні Мохо в районі центрально-західної прикарпатської частини Передкарпатського прогину з простеженням тут кількох субграниць Мохо і коро-мантіїної суміші, особливістю сучасних вертикальних рухів земної кори заходу регіону, наявністю підзон знижених швидкостей у корі Закарпаття та зон підвищеної провідності в корі і в мантії регіону (А. В. Назаревич & Назаревич, 2002; Kováčiková et al., 2016 та ін.).

Взаємодія альпійської/карпатської та астенолітної складових регіонального геодинамічного процесу спричинила в Українських Карпатах специфічну багатоярусну так звану «крокодилову» тектоніку (за визначенням А. В. Чекунова) – поряд з насуванням карпатських насувів на край платформи (фундамент Передкарпатського прогину) відбувалося одночасне підсування (затягування) нижніх горизонтів кори і верхів мантії під нього (А. В. Назаревич & Назаревич, 2002). Складна у часі і в просторі взаємодія всіх трьох складових спричинила формування сучасної будови літосфери

регіону і, зокрема, особливості формування неогенових вулканічних структур у Закарпатті і в прилеглих районах Словаччини, Угорщини та Румунії.

Всі описані складові регіонального геодинамічного процесу спричиняють сучасну сеймотектонічну активність земної кори даної території і відповідні сейсмоекологічні небезпеки, мають зв'язок з особливостями розподілу нафтогазоносних структур і гідротермальних ресурсів у регіоні і з безпекою їх видобування, а також з іншими важливими практичними задачами, тому потребують детального вивчення і врахування.

Назаревич, А. (2024). Субмеридіонально-дугові структури у рельєфі та різномасштабних розривних порушеннях у зоні Східних Бескидів і терейнова геодинаміка Українських Карпат. *Проблеми геоморфології і палеогеографії Українських Карпат і прилеглих територій*, 1(16), 65–94. <https://doi.org/10.30970/gpc.2024.1.4429>.

Назаревич, А. В., & Назаревич, Л. Є. (2002). Глибинні пастково-колекторські тектонічні структури в літосфері Карпатського регіону України: природа, походження і перспективні ресурси. *Науковий вісник ІФНТУНГ*, 3(4), 10–21.

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>

УДК 551.7:551.8(477.8)

## **МОРФОЛІТОСТРАТИГРАФІЧНИЙ МЕТОД РОЗЧЛЕНУВАННЯ НЕОГЕНОВИХ ВІДКЛАДІВ ВОЛИНО-ПОДІЛЛЯ: ОБҐРУНТУВАННЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ**

**Ярина ТУЗЯК<sup>a</sup>, Антоніна ІВАНІНА<sup>b</sup>**

Львівський національний університет імені Івана Франка, Львів, Україна

<sup>a</sup> e-mail: yaryna.tuzyak@lnu.edu.ua; <https://orcid.org/0000-0002-5749-3235>

<sup>b</sup> e-mail: antonina.ivanina@lnu.edu.ua; <https://orcid.org/0000-0003-4112-941X>

## **METHODOLOGY OF MORPHOLITHOSTRATIGRAPHIC SUBDIVISION OF THE NEOGENE OF VOLHYN-PODILLYA: METHODOLOGICAL BASIS AND APPLICATION PROSPECTS**

**Yaryna TUZYAK<sup>a</sup>, Antonina IVANINA<sup>b</sup>**

Ivan Franko National University of Lviv, Lviv, Ukraine

Особливості будови неогенових відкладів Волино-Поділля (південно-західної країни Східноєвропейської платформи), зумовлені їхнім гетерогенним походженням, неоднорідністю та невитриманістю літологічного складу в часі й просторі, а також наявністю геологічних тіл біогенного походження, що формують еко-морфодинамічну систему Медобори–Товтри (ЕМДС) (Тузяк, 2020), чітко виражену в рельєфі та представлену сукупністю морфологічних, літологічних і стратиграфічних ознак, обґрунтовують застосування морфолітостратиграфічного методу розчленування як найбільш ефективного підходу до виділення й кореляції стратиграфічних підрозділів неогену Волино-Поділля.

Стратиграфічне розчленування неогенових відкладів Волино-Поділля ґрунтується переважно на літолого- та біостратиграфічному підходах (*Стратиграфические схемы...*, 1993). Однак неоднорідність літологічної будови та обмежене поширення окремих біостратиграфічних реперів у багатьох випадках ускладнюють кореляцію стратиграфічних підрозділів, особливо в межах рифових і прибережно-мілководних комплексів. Це породило необхідність застосування інтегрованих методів досліджень, здатних враховувати не лише літологічні та палеонтологічні особливості, а й морфологічну організацію геологічних тіл.

На відміну від літологічного підходу, який враховує переважно склад порід, морфолітостратиграфічний метод дозволяє оцінювати морфологію геологічних тіл як результат поєднання седиментаційних і біогенних процесів. Для рифових утворень Медоборів–Товтр характерними є просторово впорядковані морфологічні форми, які відображають закономірності розвитку органогенних споруд у межах неогенового басейну. Саме морфологічні особливості рифових масивів у поєднанні з їх літологічними характеристиками можуть виступати надійними критеріями виділення морфолітостратиграфічних одиниць.

Отже, морфолітостратиграфія ґрунтується на вивченні закономірностей морфології геологічних тіл, їх літологічної будови, просторового поширення, генетичних особливостей і стратиграфічного положення з урахуванням результатів седиментологічних і палеонтологічних досліджень. Основні складові методу: морфологічний критерій (форма та конфігурація геологічних тіл; морфологія рифових споруд; взаємне просторове положення; відображення у сучасному рельєфі), літологічний критерій (мозаїчно-каркасна будова біогенних масивів, речовинний склад порід; текстурно-структурні особливості; фаціальні переходи; особливості седиментації) та ін. Головною ознакою виділення морфолітостратонів слугує просторовий перехід від шаруватих циклічно побудованих теригенно-карбонатних утворень до масивних, нешаруватих мозаїчно-каркасних тіл біогенного походження (рифових та біогермних масивів). На відміну від традиційної стратиграфії, основною одиницею аналізу є еко-морфоструктура (ЕМС) – це просторово цілісне органогенне тіло, сформоване у специфічних палеоекологічних умовах, характеризується стійким поєднанням морфологічних ознак (форма, гіпсометрія, будова схилів і поверхонь органогенних тіл), літолого-фаціальних і палеонтологічних особливостей, стратиграфічної позиції, постійних значень абсолютних висот і є опорним об'єктом для ідентифікації, порівняння та інтерпретації генетично споріднених морфоструктур. ЕМС інтегрує екологічний чинник як структуротворний, фіксуючи нерозривний зв'язок між морфогенезом, формуванням біогенної споруди і умовами седиментації.

Для України метод використано вперше. Запровадження понять еко-морфоструктури та її стратотипу є методологічно обґрунтованим у межах ЕМДС Медобори–Товтри, де органогенні споруди відповідного біогенного походження відіграють провідну роль у формуванні рельєфу, а їх сучасний морфологічний вигляд безпосередньо відображає умови біогенезу, седиментації та подальшої постседиментаційної трансформації. Використання цих термінів дозволяє уніфікувати опис органогенних форм, підвищити точність

палеогеографічних реконструкцій та забезпечити порівняння результатів регіональних і міжрегіональних досліджень.

*Стратиграфические схемы фанерозойских образований Украины для геологических карт нового поколения (графические приложения).* (1993). Киев: Геопрогноз.

Тузяк, Я. (2020). Еко-морфодинамічна система Медобори-Товтри (Поділля, Західна Україна): її освітня, геотуристична й рекреаційна цінність. *Екологічні науки*, 29(2), 147–156. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.есо.2-29.2.23>

Тузяк, Я. (2026). Стандартизована характеристика еко-морфоструктур органогенного походження на прикладі середньоміоценової еко-морфодинамічної системи Медобори-Товтри (Поділля, Західна Україна). *Палеонтологічний збірник*, 58, 99–110. <https://doi.org/10.30970/pal.58.8>

УДК 551.762:552.3/4(477.8)

**ПЕТРОГРАФІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА  
ЕКЗОТИЧНИХ УЛАМКІВ У ВІДКЛАДАХ  
СКИБОВОГО ТА БОРИСЛАВСЬКО-ПОКУТСЬКОГО ПОКРИВІВ  
УКРАЇНСЬКИХ КАРПАТ**

**Марія ЦАР**

Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, Львів, Україна,  
e-mail: igggk@mail.lviv.ua

**PETROGRAPHIC CHARACTERISTICS OF EXOTIC CLASTS  
FROM THE SKYBA AND BORYSLAV-POKUTTYA NAPPE  
OF THE UKRAINIAN CARPATHIANS**

**Maria TSAR**

Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals  
of the NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine

В Українських Карпатах серед уламкових відкладів широко поширені екзотичні породи, тобто утворення, корінні джерела яких нині глибоко поховані під насувами Карпатської споруди. Їх вивчення є важливим для реконструкції палеогеографічних умов, визначення джерел уламкового матеріалу та уточнення палеотектонічної еволюції Карпатського басейну. Особливий інтерес становлять екзотичні уламки у відкладах Скибового та Бориславсько-Покутського покривів, оскільки вони можуть відображати склад давніх кордильєр та інших областей живлення осадового матеріалу (Вялов та ін., 1981; Федущак, 1962 та ін.).

Метою роботи було дослідження петрографічного складу екзотичних уламків та оцінка умов їх формування. Об'єктами дослідження стали екзотичні уламки із відкладів стрийської, ямненської та нижньоворотисненської світ, відібрані у Гребенівському кар'єрі, районі р. Кам'янка, м. Борислав (р. Тисмениця) та на горі Глорієтта поблизу м. Трускавця. Дослідження виконано із застосуванням петрографічного аналізу шліфів у поляризаційному мікроскопі та порівняльно-геологічного методу.

У відкладах стрийської світи (Гребенівський кар'єр) досліджено екзотичні уламки у складі гравелітів. Серед них встановлено альбіт-біотит-хлорит-кварцові сланці, кварцитоподібні пісковики та вулканічні породи плагіо-андезитового складу. Для уламків характерні рекристалізаційні структури, альбітизація, хлоритизація та інші постседиментаційні перетворення, що відповідають умовам зеленосланцевої фації метаморфізму.

У відкладах ямненської світи в районі р. Кам'янка встановлено присутність кварцу, кварцитоподібних порід, глинистих сланців та органогенних вапняків із добре збереженими залишками фауни. Конгломерати характеризуються неоднорідним літологічним складом, що свідчить про різноманітність джерел уламкового матеріалу.

У воротищенській серії Бориславсько-Покутського покриття (м. Борислав) серед екзотичних уламків переважають кварцити, кварцитоподібні породи, слабометаморфізовані алевропеліти, ефузивні породи середнього-основного складу та уламки плагіоклазу. У шліфах спостерігаються мікрокліваж, рекристалізація кварцу, розвиток серициту, хлориту та характерних структур диференційного ковзання, що підтверджує розвиток метаморфічних процесів зеленосланцевої фації.

Досліджені зразки з району гори Глорієтта представлені окремнілими апоглинистими породами, збагаченими халцедоном, опалом, серицитом, хлоритом та органічною речовиною. Характер вторинних змін свідчить про перебіг процесів катагенезу та передметаморфічних перетворень.

Петрографічний аналіз показав значне різноманіття складу екзотичних уламків у відкладах Скибового та Бориславсько-Покутського покриттів. Для більшості досліджених порід встановлено ознаки низькотемпературного метаморфізму зеленосланцевої фації, що підтверджується розвитком хлориту, серициту, альбіту, рекристалізаційних структур і мікрокліважу. Отримані результати доповнюють дані щодо складу областей живлення Карпатського бассейну та можуть бути використані для подальших палеогеографічних і палеотектонічних реконструкцій.

Вялов, О. С., Гавура, С. П., Даныш, В. В. и др. (1981). *История геологического развития Украинских Карпат*. Київ: Наукова думка.

Федушак, М. Ю. (1962). *Умови утворення екзотичних конгломератів воротищенської серії Передкарпаття*. Київ: Видавництво АН УРСР.

**ОЛІСТОСТРОМА У ДУСИНСЬКІЙ СВІТІ ОЛІГОЦЕНУ  
ДУКЛЯНСЬКО-ЧОРНОГОРСЬКОГО ПОКРИВУ**

**Володимир ШЛАПІНСЬКИЙ<sup>a</sup>, Ярослав ЛАЗАРУК<sup>b</sup>, Олеся САВЧАК<sup>c</sup>,  
Галина ГРИВНЯК<sup>d</sup>, Світлана ГАРАСИМ<sup>e</sup>, Любов ГУЗАРСЬКА<sup>f</sup>**

Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, Львів, Україна

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0009-0009-0403-8421>; <sup>b</sup> <https://orcid.org/0009-0002-2016-3424>;

<sup>c</sup> e-mail: [savchakolesya@gmail.com](mailto:savchakolesya@gmail.com); <https://orcid.org/0000-0003-1491-7613>;

<sup>d</sup> <https://orcid.org/0009-0006-0732-9978>; <sup>e</sup> <https://orcid.org/0009-0005-7397-997>;

<sup>f</sup> <https://orcid.org/0009-0006-4448-2197>

**THE OLISTOSTROME OF THE OLIGOCENE DUSYNIA FORMATION  
OF THE DUKLA-CHORNOHORA NAPPE**

**Volodymyr SHLAPINSKY<sup>a</sup>, Yaroslav LAZARUK<sup>b</sup>, Olesya SAVCHAK<sup>c</sup>,  
Halyna HRYVNYAK<sup>d</sup>, Svitlana HARASYM<sup>e</sup>, Lubov HUZARSKA<sup>f</sup>**

Institute of Geology & Geochemistry of Combustible Minerals  
of the NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine

В нижньовержовинській підсвіті олігоцену Кросненського і Дуклянсько-Чорногорського покривів залягає олістостромові товща, яка супроводжується сильно зім'ятими глинистими брекчіями. Вони нагадують мілоніти з включенням обкатаних гальок і брил (до 0,3–0,5 м) екзотичних порід. У них виявлені метаморфічні сланці, кварцити, халцедоніти, мармури, кременисті аргіліти, алевроліти, криптокристалічні вапняки, мікрозернисті доломіти, а також зелені еоценові аргіліти. В розрізі зафіксовані обвальні-зсувні утворення більш древніх порід – олістоліти, товщиною від 20–30 м до 4,7 км. За даними мікро- і макрофауністичних досліджень олістоліти є утвореннями нижньої і верхньої крейди, палеоцену, еоцену, а також нижнього олігоцену. Серед деяких карпатських геологів набула популярності гіпотеза так званих перманентних насувів, які відбувалися синхронно з осадоагромадженням. У процесі їхнього переміщення перед фронтом нібито й утворилась олістострома за принципом ефекту бульдозера. Кросненська олістострома є прикладом таких утворень перед Дуклянським покривом. Однак матеріали, зібрані в ході геологічних зйомок, заперечують згаданий механізм. Про це свідчать такі факти: а) насув Дуклянського покриву не міг спричинити кросненську олістострому, оскільки насунання відбувалося не синхронно з формуванням відкладів нижньовержовинської підсвіти, а значно пізніше, в неогені; б) цей насув не міг спричинити утворення кросненської олістостроми, оскільки кросненська фація з олістостромою поширена також в передових лусках цієї ж одиниці, наприклад, в с. Люта і урочищі Млаки у відслоненні берегів р. Люта; в) олістострома простежується на одному стратиграфічному рівні – в низах та середній частині нижньовержовинської підсвіти, що свідчить про її формування в єдиному ранньовержовинському басейні у вузькому часовому інтервалі, а не розтягнутість процесу в часі і просторі в міру просування Дуклянського покриву і утворення лусок Кросненського покриву; г) розвиток олістостроми по вертикалі в порівняно невеликому часовому проміжку –

від смугастих вапняків до середини нижньовержовинської підсвіти – означає, що і джерела зносу олістолітів, і причини, які викликають зсуви, функціонували достатньо недовго, що протирічить тезі про перманентний рух; д) якби олістострома була спричинена насупом, то олістоліти спостерігались би неперервно, а не дискретно: не можна уявити, щоб на одних ділянках насуп відбувався, а на інших – ні; е) у складі кросненської олістостроми виявлені породи, яких у складі Дуклянсько-Чорногорського покриву, і взагалі у карпатському фліші, немає: пеліциподові вапняки нижньоолігоценового віку товщиною до 1 м, гіпси, які формувалися в діапазоні явно менших глибин (субліторалі); є) над олістостромою в усіх лусках Бітлянсько-Свидовецького субпокриву і Дуклянського покриву розвинуті нормально залеглі, вищі ланки нижньовержовинської підсвіти, а отже, насупання лусок в олігоцені не було (Шлапінський та ін., 2019). Відтак встановлена така закономірність будови олістостроми: простягання вздовж всієї південної границі Кросненського покриву, локалізація в північних лусках Ставнянського субпокриву Дуклянсько-Чорногорського покриву, але не неперервно, а локальними ділянками. Вірогідно, джерелами зносу була низка островів, які утворилися на початку нижньовержовинського часу. Місцями язика олістостроми заходять у південно-західну частину Турківського субпокриву, Прикладом можуть бути олістоліти в селах Сможе і Торунь. Цікаво, що зменшення розмірів олістолітів і омоложення їхнього віку спостерігається в північно-східному напрямку. Якщо в південних лусках Бітлянсько-Свидовецького субпокриву найбільш древніми є олістоліти нижньокрейдового віку розміром до декількох сотень метрів, в лусці Волосянки-Підполоззя – до 4,7 км, то північніше в районі с. Сможе знайдені еоценові і нижньоолігоценові олістоліти діаметром до 3 м. Не менш цікавим є факт, що породи крейдово-палеогенового віку в олістолітах відрізняються від одновікових порід Кросненського і Дуклянсько-Чорногорського покривів підвищеною карбонатністю і багатством мікрофауни. Якщо додати, що в породах нижньовержовинської підсвіти зафіксовані знаки течії північно-східних румбів, то теза про кордильєру як джерело зносу олістолітів цілком обґрунтована і безальтернативна. Вона розділяла кросненську та дусинську літофації. На користь цієї версії свідчить олістострома, присутня в дусинській світі. Вона зафіксована у відслоненні № 1541 площі Тур'я Поляна на березі р. Шипот (басейн р. Тур'я), вище гирла струмка Шипотик. Тут серед порід дусинської світи: аргілітів коричневих і чорних карбонатних, мергелів та вапняків, присутня брекчія, складена уламками аргілітів чорних, зелених та блакитних, пісковиків і алевролітів. Розмір уламків досягає 10–20 см. Вік мікрофауни із зелених аргілітів за визначенням Н. Бояринцевої – верхній еоцен та нижній олігоцен (Жигунова та ін., 1969). У 1969 р., коли був підготовлений звіт з геолого-знімальних робіт на площі Тур'я Поляна, про олістостромові явища ще не знали. Описаний вище розріз не той, що у згаданому вище відслоненні № 1541, фігурує пізніше, у відомій праці 1977 р.: «у пригирловій частині струмка Воеводин (права притока р. Шипот) в декількох кілометрах нижче його устя, в руслі основної ріки розкриті виходи темносірої мергельно-глинистої брекчії олігоценового віку товщиною 100 м. Судячи з літологічного складу уламкового матеріалу та цементуючої маси брекчії, вона утворилася під час осадоагромадження в результаті інтенсивного

підводного осування по дну мергельно-глинистих утворень дусинської світи. Брекчія являє собою типову ендолістоформу» (Габинет та ін., 1977). Отже, в першому випадку до складу олістоформи входять не тільки породи дусинської світи, а й еоцену, тобто, це аллолістоформа, у другому випадку маємо одновіковий склад олістоформи (ендолістоформа). В усякому разі це повністю заперечує теорію М. Леонова про тектонічне походження олістоформи, тому що Дуклянська зона не могла одночасно насуватись і на північний схід і на південний захід (Леонов, 1978). А от кордильєра, яка розмежувала кросненську і дусинську літофації, цілком могла бути постачальником уламкового матеріалу для олістоформи і олістолітів.

- Габинет, М. П., Кульчицкий, Я. О., Матковский, О. И., & Ясинская, А. А. (1977). *Геология и полезные ископаемые Украинских Карпат* (Ч. 2). Львов.
- Жигунова, З. Ф., Петров, В. Г., & Коваль, Ж. С. (1969). *Звіт про пошуково-знімальні роботи масштабу 1 : 25 000, проведені на площі Тур'я Поляна Закарпатської області УРСР у 1968 р.* Фонди ДП «Західукргеологія». Львів.
- Леонов, М. Г. (1978). Олистоформы и их генезис. *Геотектоника*, 5, 18–33.
- Шлапінський, В., Павлюк, М., Медведєв, А., & Тернавський, М. (2019). Олістоформа в олігоцені Кросненського (Турківський субпокров) і Дуклянсько-Чорногорського покривів Українських Карпат. *Геологія і геохімія горючих копалин*, 1(178), 5–20. <https://doi.org/10.15407/ggcm2019.01.005>

UDC 556.3:504.61:622.016

## **ANALYSIS OF KARST PROCESSES OF MINE 2 OF THE STEBNYTSKY DEPOSIT AT THE POST-MINING STAGE**

**Zenon KHEVPA<sup>1,a</sup>, Vasyi DYAKIV<sup>2</sup>, Oleg ULYTSKYI<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> State Institution “Institute of Environmental Geochemistry  
of the National Academy of Sciences of Ukraine”, Kyiv, Ukraine

<sup>a</sup> e-mail: zenonzxv@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-6759-9850>

<sup>2</sup> Ivan Franko National University of Lviv, Lviv, Ukraine  
e-mail: dyakivw@yahoo.com; <https://orcid.org/0000-0001-8045-4595>

## **АНАЛІЗ КАРСТОВИХ ПРОЦЕСІВ РУДНИКА № 2 СТЕБНИЦЬКОГО РОДОВИЩА НА ПОСТМАЙНІНГОВОМУ ЕТАПІ**

**Зенон ХЕВПА<sup>1,a</sup>, Василь ДЯКІВ<sup>2</sup>, Олег УЛИЦЬКИЙ<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», Київ, Україна

<sup>2</sup> Львівський національний університет імені Івана Франка, Львів, Україна

The Stebnitsy potash salt deposit is located in the foothills of the Ukrainian Carpathians in the Boryslav-Pokutsky nappe section of the Precarpathian forward depression, i.e. directly in the zone of articulation of the latter with the Carpathian system. This determines the significant complexity of its tectonic structure. The geological structure of the deposit includes rocks of the Lower Vorotyschen and Upper Vorotyschen formations, as well as the lower part of the Lower Neogene Stebnitsy formation. The Lower Vorotyschen formation is exposed by underground mining operations and wells in the cores of anticlinal structures. The section

of the formation has a clear terrigenous character. The Upper Vorotyshchen formation is the most developed in the territory of the deposit. It is composed mainly of salt-bearing breccias of various compositions with layers of mudstones, sandstones, rock salt and potassium salts. In the northern part of the deposit, the deposits of the Upper Vorotyshchen Formation along the regional thrust line contact the rocks of the Stebnitsa Formation. The latter is composed of variegated clays, siltstones and sandstones. The deposit is characterized by the fact that the salt-bearing deposits of the Lower and Upper Vorotyshchen Formations throughout the territory of their outcrops are covered by a thickness of rocks altered in the hypergenesis zone, the presence of characteristic deposits of the so-called gypsum-clay “cap”. The relief of the surface of the salt mirror, the contact of the gypsum-clay “cap” and “root” rocks is very complex and depends on many conditions – most often on the composition of the root rocks, the highest marks of the salt mirror are usually characteristic in areas of outcrops of potash layers, the lowest on outcrops of terrigenous rocks.

The Stebnyk deposit of potash salts is located in the vicinity of the cities of Stebnyk and Truskavets, the villages of Stanilya, Solets and Modrychi: here, in mines No. 1 and No. 2, potash ores were mined, which were processed at the enrichment plant and the waste was dumped into a tailings pond. The layers of potash kainite-langbeinite ores in the massif of halite with clay lie subvertically and are traced to a depth of 1–1.5 km. The layers were developed using a chamber method with the formation of voids (chambers) and left monoliths between them. The inflow of groundwater in the period from 1965 to 2013 led to the activation of salt karst.

Relevance of the work: within the limits of mine No. 2 of the Stebnyk deposit of potash salts, three largest karst sinkholes have formed in recent decades, No. 27 in September 2017; in March 2020 – No. 30 and in February 2025 – No. 32 in the area near the suburb of Stebnyk, the village of Solec, at a small distance from residential buildings, infrastructure facilities and their changes in the process of self-flooding and the formation of the post-mining landscape, respectively, specialists of the Stebnyk Mining and Chemical Enterprise and scientists from Lviv University, the National Academy of Sciences of Ukraine and others are carrying out detailed studies of engineering and geological conditions and the state of the geological environment to predict karst collapse phenomena in the zones of influence of emergency salt mines (Dyakiv et al., 2023).

Research methodology: 1) Experimental modeling using physical models that simulate the geological environment of the salt deposit; 2) Material balance modeling to assess quantitative dissolution indicators; 3) Monitoring of the condition of mining workings and the surface, which consisted in analyzing the condition of pillars, mining workings and surface subsidence in the zone of influence of the emergency mine; 4) Monitoring of hazardous geological processes, which consisted in recording the observed changes in engineering and geological conditions; 5) Hydrological monitoring of karst lakes, which consisted in analyzing changes in water levels and chemical composition; 6) Comprehensive hydrogeological monitoring, which consisted of analyzing changes in hydrogeological conditions; 7) Analysis of modeling data and monitoring observations and development of sinkhole formation models with the allocation of stages. It should be noted that the karst processes observed today have a direct causal relationship with events

that began in October 1978, when an emergency breakthrough of hypersaline waters into spent chambers No. 115–116 occurred at mine No. 2, and later into chamber 122. The total inflow of brines was up to 1000–1500 m<sup>3</sup>/day, as a result, more than 14 million m<sup>3</sup> of brines entered the mining works of mine No. 2 in this area and about 1900 thousand m<sup>3</sup> of underground karst cavities were formed in the salt-bearing massif (calculated, based on the removal of salts). As a result of the forty-year leakage of hypersaline waters into mine No. 2, a depression funnel was formed in the water heads of the gypsum-clay cap horizon, extending from the Truskavets forest massif in the southeast to the floodplain of the Vyshnytsia River in the northwest and reaching an area of 3910 x 960 m. In mine No. 2, in the places of ingress and transportation of fresh water, numerous destructions of interchamber pillars and steles were recorded in 2010–2014, which caused subsidence of the earth's surface and the formation of karst sinkholes on a previously defined and fenced area of the earth in 2017; 2020 and 2025. Within the mining concession of the enterprise, the geological service of the enterprise has documented more than 30 karst sinkholes to date, the first of which were formed in 1979, after the above-described emergency breakthrough in 1978 of supra-saline waters in mine No. 2, significant karst sinkholes were formed in 1993 No. 14 = 2677 m<sup>3</sup>; 1998 No. 16 = 1728 m<sup>3</sup>; 1999 No. 14a = 2618 m<sup>3</sup>; 2000 No. 18 = 6385 m<sup>3</sup>; 2004 No. 20 = 19393 m<sup>3</sup>; 2005 No. 22 = 3600 m<sup>3</sup>; 2007 No. 25 = 1950 m<sup>3</sup>, No. 27, which was formed on September 30, 2017, size 200\*210 m, depth up to 40 m above the worked chambers 109–115 of layer 10 SE; On March 15, 2020, a karst sinkhole No. 30, measuring 100\*75 m and up to 50 m deep, was formed on the surface of the mine field of the conservation area of mine No. 2 of the Stebnytsky deposit, in the unloading zone above the mined underground chambers 102–105 of layer 10 South-East. On February 15, 2025, at 11:00 a.m., a sharp subsidence of the surface occurred on the mine field of mine No. 2 approximately 260 meters south of karst sinkhole No. 27. The sinkhole is oval in shape, measuring 70\*55 meters in area, the walls are vertical, the bottom of the sinkhole is filled with water, the depth of the sinkhole to the water is approximately 20 meters, sinkhole No. 32 is located above the mined chambers 126–128 of layer 10 South-East, where in previous decade until 2010, the most aggressive intercepted waters from 5, 17, 16, etc. sumps of the drainage horizon were discharged. This territory of the mine field of mine 2 was previously identified as a potential collapse zone. Karst collapse No. 32, as well as the previous No. 27 in 2017 and No. 30 in 2020, were formed as a result of mechanical destruction of the side walls and the ceiling of the spent chambers 126–128 of the 10th layer of the South-East and the natural karst cavity in the salt-bearing massif by the leakage of supersaline waters in the unloading zone, the beginning of the formation of the leak dates back to October 1978 (Khevpa, 2024). According to mining geomechanics by M. M. Protodiakonov, at the karst collapse No. 32, the 4th stage of collapse formation is currently underway, namely, the walls of the sinkhole are deformed, the walls of the collapse are leveled with the formation of slope deformations.

In the area of activity of the Stebnytsky deposit and within its mining concession, a number of urgent environmental protection measures are systematically carried out.

As of today, all the developed and documented mining operations of mine No. 2 of the Stebnytsky deposit of potassium salts are filled with brines. Thus, one

of the main tasks for the conservation of mine No. 2 of the Stebnytsky deposit – filling with brines all the developed mining voids of mine No. 2 has been fully implemented, and in accordance with the concept of the above-mentioned conservation project – karst processes should stop, and the earth's surface of the mine field of mine No. 2 of the Stebnytsky deposit should now gradually stabilize.

The conducted studies allowed us to substantiate three models of sinkhole formation: 1. Model of disruption of natural hydrogeological conditions and primary technogenic disturbance of the geological environment during the extraction of brine from the salt mirror zone; 2. Model of disturbance of the geological environment during the extraction of potash ores in mine No. 2 Stebnytsky deposit by chamber method (chamber system); 3. Model of disturbance of geological environment and radical changes in hydrogeological conditions during activation of water inflows into mining operations, development of salt karst, cutting of pillars, formation of large depressions and karst lakes in them. Based on the study of the three largest karst depressions No. 27, 30 and 32, the third model was considered in the most detail, during the development of which seven stages of formation of large depressions were thoroughly considered, which corresponds to the observed and studied hydrogeological conditions in detail. Stage 1. Ingress of aggressive waters into the mining chambers, with undercutting of pillars, their collapse and formation of a stable equilibrium vault. Stage 1 is the root cause of the formation of all three large sinkholes: No. 27, 30, 32. Stage 2. Subsidence above the future sinkhole, which directly depends on the level of hydraulic support of the flooded mine and can be large-scale (sinkhole No. 27), moderate (sinkhole No. 30) and local (sinkhole No. 32). Stage 3. Loss of stability of the vault and cylindrical collapse in the center of the stable equilibrium vault: in sinkhole No. 27 it lasted a few minutes and caused a man-made earthquake, in sinkhole No. 30 it was observed from a drone, in sinkhole No. 32 its manifestations were described during field studies; Stage 4. Centripetal landslides: probably did not manifest itself during the formation of sinkhole No. 27, lasted a few hours during the formation of sinkhole No. 30, and Stage 4. Centripetal landslides are most clearly expressed during the formation of sinkhole No. 32. Stage 5. The genesis of cracks and landslide bodies with the activation of multi-amplitude, multi-phase, centripetal landslides: best manifested above sinkholes No. 27 and No. 30. The amplitudes of displacements of landslide bodies range from several tens of centimeters to 1.5–3.0 m. Stage 6. Stabilization of landslide bodies in the process of formation of karst lakes on the example of sinkhole No. 27; Stage 7. Stabilization of landslide bodies in the process of filtration unloading of karst lakes in sinkholes No. 27 and No. 30 and leakage from the latter into the river network.

According to the results of the conducted research, the following conclusions can be drawn:

1. Karst processes observed today within the Stebnytskyi deposit mining area have a direct causal relationship with the events of 1978, when an emergency breakthrough of aggressive hypersaline waters into the spent chambers occurred at Mine No. 2, which lasted until 2013.

2. Large karst sinkholes in the mine field of Mine No. 2 were formed as a result of mechanical destruction of the side walls and the ceiling of the spent chambers on the bed and the natural karst cavity in the salt-bearing massif by the

leakage of hypersaline waters in the unloading zone, the beginning of the formation of which dates back to 1978, these areas of the mine field of Mine 2 were previously identified by us as a potential sinkhole zone.

2. The formation of the technogenically disturbed geological environment of Mine No. 2 of the Stebnytskyi deposit of potash salts occurs according to three models: violation of natural hydrogeological conditions and primary technogenic disturbance of the geological environment during the extraction of brine from the salt mirror zone, which occurred for many centuries with small depressions near the extraction sites; Model of disturbance of the geological environment during the extraction of potash ores in Mine No. 2 of the Stebnytskyi deposit, which led to the appearance of water inflows and medium-sized depressions; Model of disturbance of the geological environment and radical changes in hydrogeological conditions during the cutting of pillars, the formation of large depressions and karst lakes in them.

3. As of today, all mining operations of mine No. 2 are filled with brines and, in accordance with the concept of the conservation project, suffusion-diffusion and karst processes should stop, and the ground surface of the mine field of mine No. 2 of the Stebnytsky deposit should now gradually stabilize.

4. A number of urgent environmental protection measures are systematically carried out in the area of activity of the Stebnytsky deposit and within its mining concession.

Dyakiv, V., Petryshyn, V., & Khevpa, Z. (2023). Evolution of development of technologically activated salt karst within the Stebnytsky deposit of potassium salts. In *Eighth international scientific and practical conference "Subsoil use in Ukraine. Investment prospects"* (pp. 443–455). Kyiv.

Khevpa, Z. Z. (2024). Environmental and geodynamic characteristics of the formation of potassium salts deposits (on the example of the Stebnytsk deposit of the Ukrainian Carpathians). *Mineral resources of Ukraine*, 3, 73–77. <https://doi.org/10.31996/mru.2024.3.73-77>

**Теорія нафтогазоутворення  
у світлі сучасних геотектонічних концепцій  
та формування родовищ нафти і газу**

---

УДК 553.982:556.3:550.4:477.8

**ГЕОХІМІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ПЛАСТОВИХ ВОД  
БОРИСЛАВСЬКО-ПОКУТСЬКОГО  
НАФТОГАЗОНОСНОГО РАЙОНУ**

**Василь ГАРАСИМЧУК<sup>a</sup>, Галина МЕДВІДЬ<sup>b</sup>, Ольга ТЕЛЕГУЗ<sup>c</sup>**

Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, Львів, Україна

<sup>a</sup> e-mail: v\_harasymchuk@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0002-4377-2655>

<sup>b</sup> e-mail: halmedvid@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-5059-245X>

<sup>c</sup> e-mail: olga\_teleguz@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0001-5761-7528>

**GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF FORMATION WATERS  
IN THE BORYSLAV-POKUTTIA OIL AND GAS BEARING AREA**

**Vasyl HARASYMCHUK<sup>a</sup>, Halyna MEDVID<sup>b</sup>, Olha TELEHUZ<sup>c</sup>**

Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals  
of the NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine

Дослідження геохімічних характеристик пластових вод вуглеводневих родовищ Бориславсько-Покутського нафтогазоносного району провадилися з метою визначення їхньої генези, прогнозу нафтогазоносності, встановлення критеріїв нафтогазоносності, а також перспектив видобутку з них літію та інших рідкісних елементів.

Бориславсько-Покутський нафтогазоносний район (НГР) характеризується значною історичною виробленістю родовищ, але зберігає перспективи подальшої розвідки за рахунок глибших продуктивних горизонтів та локальних структур піднасувних зон.

Водоносні горизонти в межах Бориславсько-Покутського НГР поширені у відкладах стрийської світи верхньої крейди ( $K_2st$ ), ямненської світи палеоцену ( $P_1jm$ ), еоцену ( $P_2$ ) (комплекс пластів різних світ), менілітової світи олігоцену ( $P_3ml$ ), поляницької світи міоцену ( $N_1pl$ ), воротищенської світи міоцену ( $N_1vr$ ). Внаслідок інтенсивної складчастості, дробленості та блоково-насувної структури геологічного розрізу району ці водоносні горизонти залягають на різних глибинах. За основними геохімічними характеристиками води усіх водоносних горизонтів подібні між собою. Це переважно високомінералізовані солянки хлоридного натрієвого, хлоридного кальцієво-натрієвого складу. Води із нижчими значеннями мінералізації ( $M < 30$  г/л) мають більші вмісти гідрокарбонатів і сульфатів та менші – мікроелементів.

Результати палеогідрогеологічного аналізу осадових товщ Бориславсько-Покутського НГР встановили, що найбільш сприятливим для формування і збереження покладів вуглеводнів був динамо-елізійний етап розвитку басейну, який розпочався в ранньому сарматі і триває по сьогодні. З цим етапом

пов'язане утворення потужних зон тріщинуватих колекторів, закладення та інтенсифікація шляхів міграції водо-вуглеводневих сумішей, вичавлювання давніх вод різної генези у верхні колектори. Разом з ним тут також проявляється і інфільтраційний етап, дія якого сягає перших сотень метрів і залежить від ступеня гідродинамічної ізольованості структур. Поєднання цих двох етапів і призвело до формування тут строкатої гідрогеохімічної системи, для якої характерні поєднання в межах однієї глибини вод різної генези, часті прояви гідрогеохімічної інверсії.

Дослідивши просторове поширення та геохімічні особливості підземних вод родовищ вуглеводнів, було оцінено критерії нафтогазоносності та ступені їх значимості, зокрема встановлено, що води горизонтів, до яких приурочені нафтові та нафто-газоконденсатні поклади, вирізняються квазізастійною гідродинамічною обстановкою. Її глибина поширення тут починається з 1200–1500 м. Ці води характеризуються виключно хлоридним натрієвим чи хлоридним кальцієво-натрієвим складом з мінералізацією від 50 г/л і більше. Внаслідок тривалої та інтенсивної взаємодії з породами води високометаморфізовані та збагачені мікроелементами. Рідше зустрічаються поклади вуглеводнів на менших глибинах, де зрідка можуть зберігатися локальні гідродинамічно ізольовані структури.

На геохімічних характеристиках підземних вод також відобразилися іонно-обмінні процеси із водовмісними породами та збільшення вмістів у водах мікроелементів внаслідок вивільнення сорбованих елементів із глинистих мінералів. Такі явища характерні лише для гідрогеологічно замкнутих структур, а їхній перебіг зумовлений тривалістю та інтенсивністю взаємодії системи вода–порода.

До непрямих гідрогеохімічних критеріїв нафтогазоносності Бориславсько-Покутського НГР віднесено сукупність таких ознак: висока мінералізація та метаморфізація вод, їхній хлоридний натрієвий чи хлоридний кальцієво-натрієвий склад, збагачення мікроелементами та мікрокомпонентами, понижені вмісти сульфатів.

Останнім часом у зв'язку з розвитком технологій Direct Lithium Extraction (DLE) та збільшенням попиту на літій різко зросли перспективи його вилучення з підземних вод. Якщо раніше основними джерелами були руди і солевмісні породи, то нині значна увага приділяється пластовим, геотермальним та високомінералізованим підземним водам. Навіть помірні концентрації Li можуть бути економічно вигідними за умов великих запасів пластових вод, високих дебітів свердловин, тривалого терміну експлуатації. Саме тому пластові води нафтогазових родовищ на даний час розглядаються як одне з найперспективніших джерел літію.

Мінімальна концентрація літію у підземних водах, за якої його вилучення може бути економічно доцільним, залежить не лише від вмісту Li, а й від мінералізації води, співвідношення Mg/Li, дебіту свердловин, технології вилучення (випарювання чи Direct Lithium Extraction, DLE), а також вартості енергії та реагентів. Економічну доцільність значно покращує можливість одночасного вилучення Br, I, B, Sr, Rb, Cs, K. Небажаними компонентами у підземних водах в процесі вилучення є високий вміст Mg, Ca, сульфатів, кремнієвої кислоти (SiO<sub>2</sub>), Fe та Mn, органічних речовин. Вони збільшують

витрати реагентів, спричиняють осадоутворення та знижують ефективність сорбентів і мембран.

На даний час проекти з вилучення літію активно розвиваються у США – з пластових вод нафтових родовищ (формація Smackover) і геотермальних вод Каліфорнії (Salton Sea), пластових вод Канади, солянок Німеччини, геотермальних вод Франції, пластових вод Китаю.

За результатами досліджень розподілу Li, K, Br, I, Sr, Rb, Cs у підземних водах Бориславсько-Покутського НГР встановлено, що вмісти цих мікроелементів залежать від величини загальної мінералізації, хімічного складу і глибини залягання водоносних горизонтів. Найвища їх концентрація прияманна солянкам хлоридного кальцієво-натрієвого складу горизонтів еоцену і менілітової серії олігоцену.

За сучасних цін на літійовмісну сировину перспективними, за умов комплексного вилучення інших компонентів, є пластові води Південностинавського, Соколовецького, Гвіздецького нафтових родовищ. Собівартість отримання сировини може бути значно меншою з огляду вже на наявність нафтових свердловин, які вичерпали свій ресурс та можуть використовуватися для видобутку пластових вод, а також за рахунок розвинутої тут видобувної та транспортної інфраструктур.

УДК 551.763:553.98 (477)

### **ОСЕРЕДКИ ГЕНЕРАЦІЇ ВУГЛЕВОДНІВ У ЗАХІДНІЙ ЧАСТИНІ ПРИЧОРНОМОРСЬКОГО МЕГАПРОГІНУ**

**Костянтин ГРИГОРЧУК<sup>a</sup>, Володимир ГНІДЕЦЬ<sup>b</sup>,  
Оксана КОХАН<sup>c</sup>, Ліна БАЛАНДЮК<sup>d</sup>**

Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, Львів, Україна

<sup>a</sup> e-mail: kosagri@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0003-1595-0968>

<sup>b</sup> e-mail: vgnidets53@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0001-6372-7878>

<sup>c</sup> e-mail: kohanom8@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0009-1075-9591>

<sup>d</sup> e-mail: lina.balandjuk@gmail.com

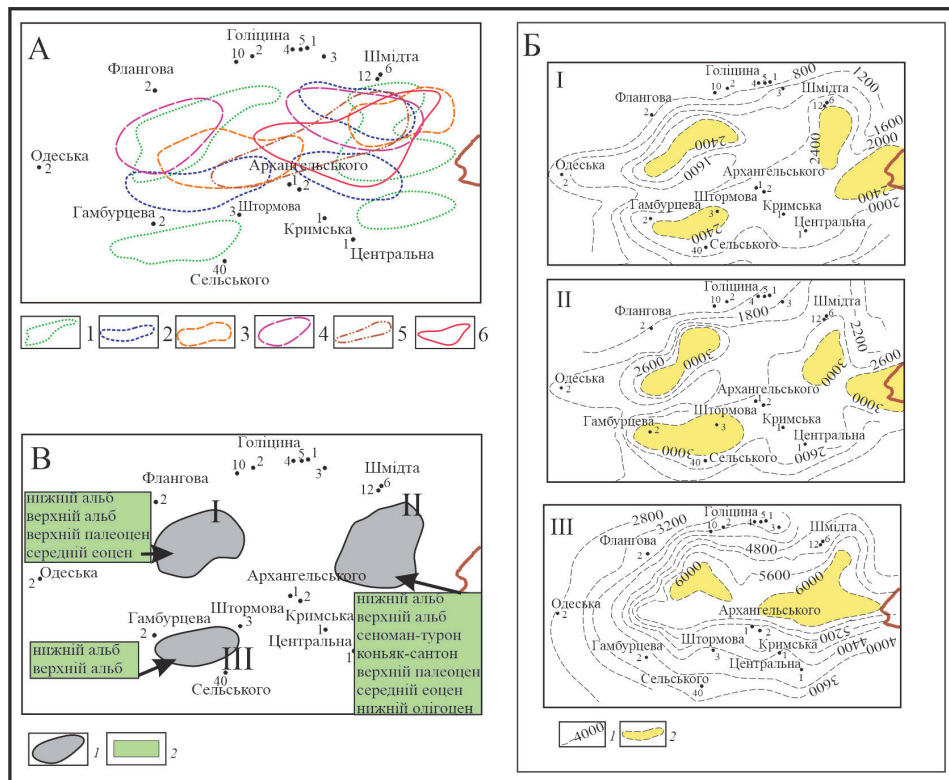
### **HYDROCARBON GENERATION CENTRES IN THE WESTERN PART OF THE BLACK SEA MEGADEPRESSION**

**Kostyantyn HRYHORCHUK<sup>a</sup>, Volodymyr HNIDETS<sup>b</sup>,  
Oksana KOKHAN<sup>c</sup>, Lina BALANDJUK<sup>d</sup>**

Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals  
of the NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine

З'ясування характеру розвитку нафтогазових систем (НГС) є основою прогнозу перспективних об'єктів різного рангу. Першим кроком вивчення цього питання є локалізація одного з основних елементів НГС – осередків генерації вуглеводнів (ВВ).

У досліджуваному регіоні нафтогазоматеринськими зазвичай вважаються відклади нижньої крейди (Глушко & Максимов, 1981). Враховуючи



Ділянки максимального розвитку відкладів аноксичного седиментогенезу різного віку (А): 1 – ранній апт, ранній, пізній альб; 2 – пізній сеноман – ранній турон; 3 – коньяк–сантон; 4 – пізній палеоцен; 5 – середній еоцен; 6 – ранній олігоцен. Схеми інтенсивності занурення відкладів (Б): I – передкампанський, II – передпалеоценовий, III – передміоценовий час; 1 – ізогіпси підосви крейдових відкладів, 2 – зони максимального занурення. Локалізація осередків генерації вуглеводнів (В): 1 – осередки (I – Західномихайлівський; II – Східномихайлівський; III – Гамбургцівський); 2 – вік материнських товщ

дані (Надежкін, 2011; Сеньковський та ін., 2012; Gavrilov et al., 1997), є підстави прогнозувати і інші стратиграфічні рівні розвитку «чорносланцевих» горизонтів: нижній апт, нижній та верхній альб, верхній сеноман – нижній турон, коньяк–сантон, верхній палеоцен, середній еоцен та нижній олігоцен.

Найбільшого поширення ці утворення набувають у конседиментаційних депресіях осьової зони Причорноморського мегапрогину, де локалізовані прогнозні ареали найбільшого розвитку аноксичних відкладів різного віку (рисунок). Максимальна суперпозиція останніх спостерігається в межах Східномихайлівської депресії, де поширені «чорносланцеві» утворення усіх вищезгаданих вікових діапазонів. Натомість у Західномихайлівській – це відклади нижньої крейди (апт, нижній, верхній альб), верхнього палеоцену та середнього еоцену. У Гамбургцівській та Кримській депресіях розвинені материнські утворення лише нижньої крейди

Ці депресії представляли собою потенційні ділянки формування осередків генерації ВВ. Важливим чинником їхнього утворення була інтенсивність занурення, яка зумовлювала достатній прогрів, можливість консервації

літогенетичних процесів та акумуляції літофлюїдної енергії, що є важливим фактором генерації та міграції ВВ на стадії катагенезу. На активних підстапах останнього відбувається масштабна міграція флюїдів, у т. ч. вуглеводневих. У межах більшої частини території досліджень активні підстапи проявилися у передкампанський, передпалеоценовий та передміоценовий час. Власне на ці моменти побудовані схеми інтенсивності занурення відкладів, які показали успадкованість розвитку Західно- та Східноміхайлівської депресій протягом усіх трьох циклів катагенезу, натомість Гамбурцівська – проявилася лише на перших двох. Шляхом зіставлення ареалів розвитку збагачених ОР відкладів та ділянок інтенсивного занурення, виділені осередки генерації ВВ, які різняться за характером поширення нафтогазоматеринських світ, що вірогідно могло спричинити відмінності генераційного потенціалу, а також компонентного складу вуглеводнів, що утворювалися в ході катагенезу.

- Глушко, В. В., & Максимов, С. П. (1981). *Прогноз поисков нефти и газа на юге УССР и на прилегающих акваториях*. Москва: Недра.
- Сеньковський, Ю. М., Колтун, Ю. В., Григорчук, К. Г., Гнідець, В. П., Попп, І. Т., & Радковець, Н. Я. (2012). *Безкисневі події океану Тетис*. Київ: Наукова думка.
- Gavrilov, Yu. O., Kodina, L. A., Lubchenko, I. Yu., & Muzylev, N. G. (1997). The Late Paleocene anoxic event in epicontinental seas of Pery-Tethys and formation of the sapropelite unit: sedimentology and geochemistry. *Lithology and Mineral Resources*, 32(5), 427–450.
- Nadezhkin, D. (2011). Hydrocarbon potential of Maikopian source rocks within Black Sea petroleum basin. *Book of abstracts 25th International Meeting of Organic Geochemistry*. Interlaken, Switzerland.

**ЛІТОФІЗИЧНА НЕОДНОРІДНІСТЬ ВІДКЛАДІВ  
СЕРЕДНЬОГО ДЕВОНУ СХІДНОСАРАТСЬКОЇ СТРУКТУРИ.  
ПЕРЕДДОБРУДЗЬКИЙ ПРОГІН**

**Костянтин ГРИГОРЧУК<sup>a</sup>, Володимир ГНІДЕЦЬ<sup>b</sup>,  
Леся КОШІЛЬ<sup>c</sup>, Мирослава ЯКОВЕНКО<sup>d</sup>**

Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, Львів, Україна

<sup>a</sup> e-mail: kosagri@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0003-1595-0968>

<sup>b</sup> e-mail: vgnidets53@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0001-6372-7878>

<sup>c</sup> e-mail: koshil\_lesia@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0001-6678-9460>

<sup>d</sup> e-mail: yroslavakoshil@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0001-8967-0489>

**LITOPHYSICAL HETEROGENEITY  
OF MIDDLE DEVONIAN DEPOSITS  
OF THE EASTERN SARAT STRUCTURE.  
DOBRUDJA FOREDEEP**

**Kostyantyn HRYHORCHUK<sup>a</sup>, Volodymyr HNIDETS<sup>b</sup>,  
Lesya KOSHIL<sup>c</sup>, Myroslava YAKOVENKO<sup>d</sup>**

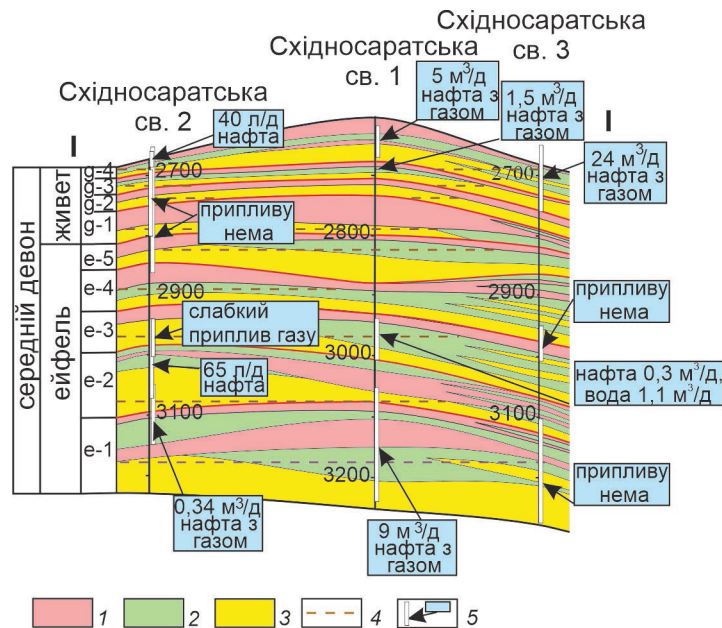
Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals  
of the NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine

У сульфатно-карбонатній товщі девону Переддобрудзького прогину, не дивлячись на широкий розвиток проявів нафти та бітумів, виявлено лише два родовища: Східносаратське та Жовтоське. Дослідження спрямовані на уточнення літофізичної будови товщі, зокрема вивчення питання, яке до тепер в регіоні не розглядалося – локалізація хибних флюїдотривів (ХФ). Останні, з традиційної точки зору, відіграють негативну роль, зменшуючи ко-рисний об'єм резервуарів. Але, згідно з (Лукин, 2011), вони мають неабияке значення в процесах міграції та акумуляції вуглеводнів (ВВ).

ХФ відрізняються від істинних флюїдотривів (ІФ) та колекторських горизонтів проміжним характером літологічної будови. ІФ представлені перешаруванням ангідритів (0,6–4,2 м), мергелів (0,5–2,8 м) та прошарків (0,2–1 м) пелітоморфних карбонатних порід. ХФ характеризуються чергуванням у розрізах вапняків (у т. ч. доломітизованих та ангідритизованих) (1,2–5,6 м), мергелів (0,2–2,6 м), ангідритів (0,7–12 м), аргілітів (0,2–1,4 м), пісковиків та алевролітів (0,6–1,0 м), доломітів (0,1–0,8 м). Горизонти природних колекторів представлені пачками (1,5–14 м) органогенних, органогенно-уламкових вапняків, розмежованих прошарками мергелів товщиною до 1,2–1,4 м.

Модель літофізичної будови відкладів середнього девону району Східносаратської структури (рисунок) демонструє доволі складну картину поширення флюїдотривів та порід-колекторів.

Так, склепінний резервуар ПГ е-1 у св. 1 складений ХФ, тоді як у свердловині 2 представлений породами-колекторами. У пастці горизонту е-2 (склепіння у районі св. 2) розвинена потужна пачка природних колекторів, яка у напрямку до св. 1 редукує. У ПГ е-3 спостерігається подібна картина, за винятком того, що у св. 1 колекторський горизонт заміщується ХФ. У горизонті е-4



Моделі літофізичної будови та результати випробування свердловин:

1 – істинні флюїдопрони; 2 – хибні флюїдопрони; 3 – колектори; 4 – прогнозний рівень водо-нафтового контакту; 5 – інтервал та результати випробувань; e-1–g-4 – продуктивні горизонти (ПГ)

пастка слабо виражена, а товщина ХФ перевищує її висоту, тому, незважаючи на наявність витриманого горизонту порід-колекторів, акумуляція ВВ могла відбуватися лише у породах ХФ. Пастка ПГ e-5 є також малоамплітудною, зі склепінням, локалізованим у свердловині 1; резервуар складений переважно ХФ і лише у св. 2 – частково породами-колекторами. Резервуари живетського ярусу також приурочені до району свердловин 1 і 2. У горизонті g-1 можливе накопичення ВВ у колекторах завтовшки не більше 4–5 м. У горизонті g-2 товщина колекторів зростає до 20 м (св. 1), тоді як у горизонті g-3 – не перевищує 10 м через розвиток ХФ. Найбільш об'ємним є резервуар горизонту g-4, де колектори можуть бути нафтонасиченими на всю товщину (~30 м).

Зіставлення вуглеводневих проявів з літофізичними особливостями дозволило певною мірою пояснити низьку ефективність результатів випробування свердловин.

У св. Східносаратська-1 випробування фактично були проведені у трьох інтервалах розрізу. Нижній (понад 100 м) – охоплює відклади ПГ e-1 та частково e-2. У першому випадку нафтонасиченими могли бути лише породи ХФ, а у другому – пачка порід-колекторів. Ймовірно, основна частина вуглеводнів надходила саме з останніх. Середній інтервал (50 м) локалізований у горизонті e-3, де нафтонасиченість прогнозується у породах ХФ, що зумовило незначні припливи. З верхнього інтервалу (близько 60 м) з резервуару ПГ g-4 отримано приплив нафти з газом. Цей об'єкт виглядає найбільш оптимально – прогнозна товщина нафтонасиченого колектора становить близько 30 м. Щоправда разом з останнім тестувався і ХФ, що могло певною мірою негативно вплинути на результат. У св. Східносаратська-2 випробування здійснені у шести інтервалах, які здебільшого включали декілька ПГ. Ймовірно, саме

це стало головною причиною отримання лише незначних припливів нафти. У св. Східносаратська-3, яка по більшості ПГ знаходиться за межами контурів прогнозних покладів, припливів нафти не було, за винятком ПГ g-4.

Таким чином, недооцінка літофізичних особливостей розрізу призвела до неефективного вибору інтервалів розкриття пластів, що певною мірою спотворило результати випробувань.

Останнє могло спричинитися ще декількома чинниками. Так «саратську» нафту за фізико-хімічними властивостями, згідно з критеріями (Муслимов, 2005), слід відносити до категорії важко видобувних, що потребує застосування методів підвищення нафтовіддачі та стимуляції свердловин з початкових етапів розробки. Існуючі ж прийоми не лише не сприяли покращенню результатів, а подекуди погіршували ситуацію. Зокрема, закачування холодної води в пласт, а також солянокислотні обробки викликали зростання в'язкості, вмісту смол, збільшення щільності та вмісту сірки.

Лукин, А. Е. (2011). Ложные покрышки нефтяных и газовых залежей – потенциальный источник природного газа. *Геологический журнал*, 4, 18–34.

Муслимов, Р. Х. (2005). Нетрадиционные залежи нефти – существенный потенциал дальнейшего развития старых нефтедобывающих районов. *Георесурсы*, 1(16), 2–8.

УДК 551.352.4.(477.8)

## **НАФТОГАЗОВА СИСТЕМА УКРАЇНСЬКИХ КАРПАТ**

**Юрій КОЛТУН**

Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, Львів, Україна  
e-mail: ykoltun@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-9884-5957>

## **PETROLEUM SYSTEM OF THE UKRAINIAN CARPATHIANS**

**Yuriy KOLTUN**

Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals  
of the NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine

Вивчення нафтогазової системи Українських Карпат із використанням комплексу геохімічних даних дозволяє окреслити закономірності проходження процесів генерації вуглеводнів в різних структурно-тектонічних зонах і на різних глибинах. Менілітова світа Карпат являє собою природну лабораторію для дослідження процесів генерації вуглеводнів породами в ході їх постседиментаційної еволюції від термально незрілих порід через зону генерації рідких вуглеводнів до зони генерації сухого газу. Збагачені розсіяною органічною речовиною породи менілітової світи олігоцен-ранньоміоценового віку мають високі генераційні властивості (Koltun, 1992), що дозволяє розглядати їх, як ключовий елемент нафтогазової системи Карпатської нафтогазової провінції – однієї з найбільших в центральній Європі та одночасно одного із найстаріших нафтогазовидобувних регіонів світу.

Вміст загального органічного вуглецю в аргілітах менілітової світи складає від менше 1 % до понад 20 %. Середній вміст цього параметра

можна умовно окреслити як 4–6 %. Для достовірного кількісного вивчення генераційного потенціалу порід нами досліджувались відклади з первинним потенціалом, тобто ті, які ще не генерували вуглеводні. Геохімічні дослідження аргілітів із 27 поверхневих відслонень в межах всієї Скибової зони (Koltun et al., 1998) показали, що величина температури  $T_{\max}$  піролізу Rock-Eval для порід із всіх досліджених локацій не перевищує 434 °C, а отже, породи менілітової світи, що виходять на денну поверхню, є термально незрілими і їх кєроген зберігає первинний генераційний потенціал, а органічна речовина належить до Типу II, нафтогенеруючого. Параметр піролізу  $S_2$ , що називається нафтовий потенціал, показує кількість вуглеводнів, які може генерувати в ході своєї термальної еволюції 1 грам породи. Для орієнтовної оцінки масштабів генерації вуглеводнів породами менілітової світи візьмемо відслонення вздовж р. Чечва, яке вважається стратотипом цих відкладів. Величина параметра  $S_2$  для 28 досліджених зразків, відібраних по всьому профілю світи, знаходиться в діапазоні від 0,35 до 97,3, в середньому складаючи 30,91 мг вуглеводнів/г породи. Товщина менілітової світи змінюється в діапазоні від перших сотень до 1400 м. Якщо прийняти консервативну оцінку сумарної товщини збагачених органічною речовиною порід як 100–200 м, то в межах кількох квадратних кілометрів площі поширення цих відкладів породи здатні генерувати десятки мільйонів тонн нафти.

З метою з'ясування діапазону глибин, на яких відбуваються процеси генерації вуглеводнів, нами були проведені геохімічні дослідження порід менілітової світи із 25 глибоких свердловин із Самбірського, Бориславського та Надвірнянського нафтопромислових районів. Зміна з глибиною термальної зрілості порід із всіх досліджених свердловин демонструє одну і ту ж закономірність. Породини залишаються термально незрілими до глибини приблизно 4,5 км. Цю глибину можна вважати порогом інтенсивної генерації вуглеводнів і верхньою межею «нафтового вікна». Одні із найглибших досягнутих бурінням породи менілітової світи (св. Північна Завода-1) на глибині біля 5800 м знаходяться в нижній частині «нафтового вікна», а отже, нижню межу останнього і перехід порід в зону генерації газу можна окреслити на глибині біля 6 км.

Моделювання історії занурення відкладів менілітової світи показує, що вирішальну роль в їх термальному дозріванні відіграли тектонічні процеси ранньоміоценового насувоутворення. Саме в результаті різкого занурення на глибини понад 4,5 км ці геологічно молоді відклади змогли реалізувати свій генераційний потенціал. Тому Бориславсько-Покутський покрив, який являє собою багатопверховий комплекс насувів, кожен з яких, як правило, включає в себе відклади менілітової світи і глибина залягання останніх забезпечує широкий діапазон термальної зрілості від незрілих порід, через всю зону утворення нафти до зони утворення газу, є основною нафтогазоносною зоною Українських Карпат. Відсутність такої структури в межах Польських Карпат суттєво знижує роль відкладів менілітової світи у формуванні нафтогазової системи (Kosakowski et al., 2018; Kotarba & Koltun, 2006).

Кореляція бітумєнів порід менілітової світи із нафтами за геохімічними даними демонструє впевнений генетичний зв'язок. Спостєрігається чітка відповідність розподілу складу стабільних ізотопів вуглецю у бітумєнах та

їх індивідуальних фракціях (вуглеводні, смоли, асфальтени) з нафтами та їх аналогічними фракціями. Очевидна кореляція спостерігається також за біомаркерами, склад яких є аналогічним у бітумах і нафтах. Зокрема, заслуговує на увагу присутність у всіх пробах нафт олеанану, біомаркера, який походить із хвойних рослин і свідчить про найімовірніше післякрейдяний вік генеруючої породи. Беззаперечним свідченням генетичного зв'язку між породами менілітової світи і нафтами є кількісні співвідношення в них різних біомаркерів, зокрема олеанан/ $C_{30}$  гопан і  $C_{29}$  норгопан/ $C_{30}$  гопан до  $C_{35}/C_{34}$  гомогопан, гомогопан  $31S/(S + R)$  до 3-метилфенантрен/ретен,  $\alpha\alpha\alpha 20R$  стеранів, які демонструють чітку кореляцію.

За індексами зрілості нафт, розрахованими за розподілом ароматичних вуглеводнів, нафти Карпатського флішу генерувалися породами в межах нафтового вікна приблизно на піку генерації рідких вуглеводнів ( $R_o$  0,87–0,92 %), проте частина нафт генерувалися керогенами різного ступеня термальної зрілості – від ранньозрілих до зрілих без залежності від глибини залягання покладу.

Збагачені органічною речовиною олігоценові породи поширені і в Кросненській зоні. Проте їх товщина, вміст органічного вуглецю та генераційний потенціал є істотно меншими, а термальна зрілість суттєво вищою від одновікових порід Скибової і Бориславсько-Покутської зон. Ступінь постседиментаційної перетвореності цих порід демонструє значну гетерогенність. Залежно від локації, породи вже на денній поверхні за ступенем термальної зрілості знаходяться в зоні генерації нафти або і в зоні генерації газу.

В межах Бориславсько-Покутської та зовнішньої частини Скибової зони вуглеводні, що генерувалися породами менілітової світи на глибинах понад 4,5 км, мігрували у вищезалягаючі яруси в колектори верхньої крейди, палеоцену, еоцену та олігоцену і концентрувалися у пастках на різних глибинах. Вірогідно, це стало причиною концентрації основної маси нафтових покладів в межах Бориславсько-Покутського покриву і менш значних покладів у зовнішній частині Скибового покриву. В межах Кросненської зони, згідно з глибинами зон генерації, присутні неглибокі невеликі поклади нафти та скупчення газу на більших глибинах.

- Koltun, Y. V. (1992). Organic matter in Oligocene Menilite formation rocks of the Ukrainian Carpathians: palaeoenvironment and geochemical evolution. *Organic geochemistry*, 18(4), 423–430. [https://doi.org/10.1016/0146-6380\(92\)90105-7](https://doi.org/10.1016/0146-6380(92)90105-7)
- Koltun, Y., Espitalie, J., Kotarba, M., Roure, F., Ellouz, N., & Kosakovski, P. (1998). Petroleum generation in the Ukrainian External Carpathians and the adjacent foreland. *Journal of Petroleum Geology*, 21(3), 265–288. <https://doi.org/10.1111/j.1747-5457.1998.tb00782.x>
- Kotarba, M. J., & Koltun, Y. V. (2006). Origin and habitat of hydrocarbons of the Polish and Ukrainian parts of the Carpathian Province. In J. Golonka & F. Picha (Eds.), *The Carpathians: Geology and Hydrocarbon Resources* (American Association of Petroleum Geologists Memoir 84, 395–443). <https://doi.org/10.1306/985605M843074>
- Kosakowski, P., Koltun, Y., Machowski, G., Poprawa, P., & Papiernik, B. (2018). The geochemical characteristics of the Oligocene – Lower Miocene Menilite Formation in the Polish and Ukrainian Outer Carpathians: a review. *Journal of Petroleum Geology*, 41(3), 319–335. <https://doi.org/10.1111/jpg.12705>

## **ВІДНОВЛЕННЯ ПОКЛАДІВ НАФТИ І ГАЗУ**

**Ярослав ЛАЗАРУК**

Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, Львів, Україна  
e-mail: igggk@mail.lviv.ua; <https://orcid.org/0009-0002-2016-3424>

## **RESTORATION OF OIL AND GAS DEPOSITS**

**Yaroslav LAZARUK**

Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals  
of the National Academy of Sciences of Ukraine, Lviv, Ukraine

Україні вкрай необхідні енергоносії та паливно-мастильні матеріали, сировиною для яких є вуглеводні. Але останнім часом внаслідок політичних та економічних проблем не відкриваються нові родовища з суттєвими запасами. Однак у нафтогазовій галузі накопичилися матеріали, для пояснення яких необхідні нові геологічні парадигми і які відносяться до так званої «нелінійної нафтогазової геології» (Лукін, 2004). Йдеться про створення теоретичної основи процесу відновлення запасів вуглеводнів у покладах, що знаходяться в розробці. Це можливе лише з урахуванням явища глибинної дегазації Землі, в результаті якої формуються високоентальпійні, високонапірні флюїдні системи.

Теорія абіогенного синтезу вуглеводнів (Порфір'єв, 1959), «флюїдодинамічна» концепція, конденсаційна модель, модель розвитку відновлених флюїдних систем фундаменту та осадового чохла, теорія нафтидогенезу (Лукін, 2004) відводять мантийному джерелу – глибинному ендегенному фактору – або абсолютну, або домінуючу роль у формуванні родовищ. Аномальна будова та енергетична нестійкість верхньої мантиї та земної кори під великими вуглеводневими скупченнями виявлені різними геофізичними методами. А тому помилково розглядати осадовий чохол як ізольовану систему, в якій перетворення органічної речовини призводить до нафтогазонакопичення. На сьогодні отриманий великий обсяг геолого-геофізичної інформації, що характеризує осадову обломку Землі як відкриту, термодинамічно нерівноважну, нестійку систему з нелінійним характером розвитку. Обов'язковим її атрибутом є обмін речовиною та енергією з оточуючим геологічним середовищем. Пліотектоніка забезпечує природний гідророзрив порід верхніх шарів літосфери, формуючи природні резервуари і одночасно заповнюючи їх вуглеводневими флюїдами.

Теоретично поновлення запасів нафти і газу вперше обґрунтував В. А. Соколов, який показав, що внаслідок дифузії всі родовища впродовж геологічного часу втрачають величезні кількості нафти і газу, а існування покладів нафти і газу можливе тільки за умови підтікання все нових порцій вуглеводнів (Соколов, 1954). В літературі опубліковано ряд праць про відновлення запасів вуглеводнів виснажених родовищ у різних нафтогазоносних басейнах світу (Созанський, 2013).

Відомі факти поповнення запасів родовищ нафти і газу і в Україні. П. М. Чепіль наводить декілька прикладів родовищ Дніпровсько-Донецької западини з регенерацією вуглеводневих покладів. Про сучасне формування газоконден-

сатних покладів Рудівсько-Червонозаводського родовища свідчить розподіл пластових тисків: за висоти поверху газоносності понад 2000 м коефіцієнт аномальності тиску в турнейських покладах дорівнює 1,45, а в низах верхньовізейського ярусу – лише 0,95–0,97.

До регенованих можна віднести Шебелинське газоконденсатне родовище. За період розробки з 1956 по 1988 р. тиски в покладах родовища зменшилися майже вдвідесятеро, внаслідок чого щорічні відбори газу з початкових 5,5 млрд м<sup>3</sup> зменшилися до 2,5 млрд м<sup>3</sup>. Після зниження рівня видобутку газу в період 1989–1990 рр. у всіх свердловинах родовища пластові тиски почали зростати. В останні роки з родовища щорічно видобувається 1,6–2,0 млрд м<sup>3</sup> газу. За таких темпів відбору газу пластові тиски практично стабілізувалися. Характерною особливістю розробки родовища є збільшення з часом відборів газу на одиницю зниження пластового тиску. Якщо в початковий період (1956–1971 рр.) відбір газу на 1 МПа зниження тиску становив у середньому 22,6 млрд м<sup>3</sup>, то в 1972–1988 рр. він зріс до 35,9 млрд м<sup>3</sup>, а на останньому етапі досяг 158,4 млрд м<sup>3</sup>. З часу відкриття Шебелинського родовища його запаси постійно корегуються у бік збільшення: від 360 млрд м<sup>3</sup> у 1950 р. до понад 750 млрд м<sup>3</sup> за останніми даними.

Починаючи з 1957 р. єдиний на Чорнухинському родовищі газоконденсатний поклад горизонту В-17 експлуатувався однією свердловиною. У 1969 р. вона повністю обводнилася. Через 30 років поклад відновився, свердловина знову запущена в експлуатацію з запасами 417 млн м<sup>3</sup> газу. Три газоконденсатні поклади сусіднього Білоусівського родовища упродовж 1978–1984 рр. були повністю відпрацьовані. Через 22 роки виснажені поклади відновилися і сьогодні знову розробляються з запасами 2,9 млрд м<sup>3</sup> газу.

Після 16-річної розробки запаси газу 14 покладів Пролетарського родовища, приурочених до відкладів московського, башкирського, серпуховського і візейського ярусів, у 1984 р. були повністю вичерпані. Через 17 років розконсервованими свердловинами у відпрацьованих пластах встановлене суттєве зростання пластових тисків. Загальні запаси газу родовища збільшилися на 191 %, конденсату – на 573 %. По найбільшому об'єкту – горизонту Б-12 – запаси з нуля збільшилися до 902 млн м<sup>3</sup> газу і 87 тис. т конденсату. Пробурені ще декілька експлуатаційних свердловин, якими поклад розробляється і донині з середньорічним відбором газу близько 70 млн м<sup>3</sup>. Ймовірно, газ підтікає з глибини через систему порушень крайового розлому.

В Індоло-Кубанському прогині на Східноказантипському родовищі за два роки розробки з покладу у відкладах меотису видобуто більшу частину запасів газу – 1842 млн м<sup>3</sup> або 71 %, однак пластовий тиск знизився лише на 36 %. Тому не виключено, що поклад постійно підживлюється газом з глибини. За даними геохімічної зйомки навколо покладу фіксується аномально високий вміст метану, радону, гелію, в той час як над самим покладом їхні значення мінімальні. Це може свідчити про витікання газу з переповненої пастки за межі покладу. Родовище знаходиться в зоні активного грязьового вулканізму, який постачає газ з глибини. Аналогічна ситуація і на сусідньому Північнобулганацькому газовому родовищі, де, незважаючи на десятилітню історію розробки покладу в караган-чокрацьких відкладах бадену, пластовий тиск стабільно залишався ще досить високим.

У Західному нафтогазоносному регіоні відомий грязьовий вулкан в селі Старуня Івано-Франківської області, який виділяє глинисту пульпу, газ, воду і нафту. Він утворився в 1977 р. під час землетрусу з епіцентром в Румунії. Відтоді вулкан існує постійно.

Поверхневі прояви вуглеводнів у Складчастих Карпатах відомі упродовж декількох століть. В. Є. Шлапінським закартовані близько пів тисячі природних виходів нафти, газу та бітумів. Найбільша їх концентрація зафіксована на границі Скибового та Кросненського покривів і в зоні зчленування Чорногорського і Турківського субпокровів Кросненського покриву.

Додатковим аргументом поповнення газових покладів може бути і той загальновідомий факт, що прямі на графіках залежності приведених пластових тисків від накопичених видобутків газу практично не досягають осі накопичених видобутків газу, а на пізній стадії розробки асимптотично наближаються до згаданої осі. Свердловини можуть ще довго працювати з мінімальними дебітами.

Таким чином фактичними матеріалами доведено, що внаслідок підтікання глибинних флюїдів по розломах вуглеводневі родовища України постійно поповнюються. Поки що немає надійних критеріїв для кількісної оцінки регенерації родовищ. Можемо лише констатувати, що поповнення запасів газу деяких родовищ ДДЗ за підтвердженими фактами коливаються в межах 14-1800 млн м<sup>3</sup> щорічно. Це додатковий ресурс, вилучення якого не потребує значних додаткових капіталовкладень. Доцільно здійснювати моніторинг відпрацьованих покладів, виведені з експлуатації свердловини не ліквідовувати, а консервувати чи переводити у спостережні, періодично замірювати пластові тиски та визначати характер флюїдонасичення відпрацьованих пластів.

Лукін, О. Ю. (2004). Проблеми нафтидосинергетики – нелінійної геології нафти та газу. *Геологічний журнал*, 307, 21–39.

Порфір'єв, В. Б. (1959). До питання про час формування нафтових родовищ. У *Проблема міграції нафти та формування нафтових і газових скупчень* (с. 165–193). Москва: Видавництво АН СРСР.

Созанський, В. І. (2013). Відновлення світових запасів нафти і газу як стратегічна проблема сучасності. *Геологічний журнал*, 2, 68–74.

Соколов, В. А. (1954). Геохімічні способи пошуків нафти. У *Загальний курс геофізичних методів розвідки нафтових та газових родовищ* (с. 406–453). Москва: Гостоптехвидав.

# КІНЕТИЧНА МОДЕЛЬ ЕВОЛЮЦІЇ АМІННИХ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ГРУП У КАТАГЕНЕТИЧНИХ ПЕРЕТВОРЕННЯХ ВИКОПНОЇ ОРГАНІЧНОЇ РЕЧОВИНИ

Олександр ЛЮБЧАК

Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, Львів, Україна  
e-mail: oleksandr.lyubchak@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-0700-6929>

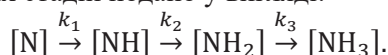
## KINETIC MODEL OF THE EVOLUTION OF AMINE FUNCTIONAL GROUPS DURING THE CATAGENETIC TRANSFORMATION OF FOSSIL ORGANIC MATTER

Oleksandr LYUBCHAK

Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals  
of the NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine

Амінні компоненти викопної органічної речовини (ВОР) успадковуються від білків, амінокислот, хітину, нуклеїнових кислот та інших біополімерів і надалі перетворюються під час діагенезу та катагенезу. Їхня еволюція впливає на форми перебування азоту в осадових товщах, склад гетероатомних компонентів бітумоїдів і нафти та утворення низькомолекулярних азотовмісних продуктів. Напрямок і швидкість цих перетворень визначаються температурою, тривалістю прогрівання, окисно-відновними умовами, кислотно-основними властивостями середовища, активністю води та мінеральною матрицею. Тому кількісний опис зміни амінних функціональних груп є складовою моделювання термічної зрілості ВОР і генерації флюїдних продуктів (Tissot & Welte, 1984; Vandenbroucke & Largeau, 2007).

Мета роботи – сформулювати спрощену кінетичну модель послідовної трансформації азотовмісних груп ВОР та одержати аналітичні залежності для оцінювання зміни умовних форм N, NH, NH<sub>2</sub> і NH<sub>3</sub> у часі. Модель є спрощеною кінетичною: символи [N], [NH] і [NH<sub>2</sub>] позначають не індивідуальні сполуки, а узагальнені стани азотовмісних центрів із різним ступенем гідратування; [NH<sub>3</sub>] відповідає кінцевому низькомолекулярному продукту. Схему послідовних необоротних стадій подано у вигляді:



Припускаємо, що швидкість кожної послідовної стадії пропорційна вмісту відповідної вихідної форми азоту, тобто всі стадії підпорядковуються кінетиці першого порядку. Тоді зміну вмісту форм [N], [NH], [NH<sub>2</sub>] і [NH<sub>3</sub>] у часі можна описати системою диференціальних рівнянь:

$$\begin{aligned} \frac{d[N]}{dt} &= -k_1[N], \\ \frac{d[NH]}{dt} &= k_1[N] - k_2[NH], \\ \frac{d[NH_2]}{dt} &= k_2[NH] - k_3[NH_2], \\ \frac{d[NH_3]}{dt} &= k_3[NH_2]. \end{aligned}$$

Тут  $t$  – час;  $k_1, k_2$  і  $k_3$  – ефективні константи швидкості відповідних стадій; квадратні дужки позначають вміст або концентрацію умовної форми азоту. Константи є параметрами, у яких узагальнено вплив температури, води, мінеральної матриці та інших чинників. За сталої температури їх вважають незмінними; для моделювання геологічного прогрівання температурну залежність можна задавати рівнянням Арреніуса  $k_i(T) = A_i \exp[-E_i/(RT)]$ , де  $A_i$  – передекспоненційний множник,  $E_i$  – енергія активації,  $R$  – універсальна газова стала,  $T$  – абсолютна температура.

Для попарно різних  $k_i$  аналітичний розв'язок системи має вигляд:

$$\begin{aligned} [N] &= [N]_0 e^{-k_1 t}, \\ [NH] &= [NH]_0 e^{-k_2 t} + k_1 [N]_0 F_{12}(t), \\ [NH_2] &= [NH_2]_0 e^{-k_3 t} + k_2 [NH]_0 F_{23}(t) + k_1 k_2 [N]_0 F_{123}(t), \\ [NH_3] &= S_0 - [N] - [NH] - [NH_2], \end{aligned}$$

де індекс 0 позначає початкове значення, а  $S_0 = [N]_0 + [NH]_0 + [NH_2]_0 + [NH_3]_0$  – сумарний початковий вміст азоту в усіх чотирьох умовних формах. Допоміжні функції визначаються як:

$$F_{ij}(t) = \frac{e^{-k_i t} - e^{-k_j t}}{k_j - k_i}, \quad F_{123}(t) = \sum_{i=1}^3 \frac{e^{-k_i t}}{\prod_{\substack{m=1 \\ m \neq i}}^3 (k_m - k_i)}.$$

Функція  $F_{ij}$  описує накопичення проміжної форми в двостадійному фрагменті ланцюга, а  $F_{123}$  – внесок початкової форми  $[N]$  у формування  $[NH_2]$  через дві послідовні стадії. Останнє рівняння розв'язку впливає із закону збереження азоту й усуває помилку знаків, що виникає, якщо приріст  $[NH_3]$  обчислювати як різницю поточних і початкових вмістів реагентів. Якщо дві константи швидкості збігаються, відповідний розв'язок визначають граничним переходом.

Модель відтворює загальну кінетичну закономірність: початкова форма  $[N]$  монотонно зменшується, проміжні  $[NH]$  і  $[NH_2]$  можуть проходити через максимуми, а кінцевий продукт  $[NH_3]$  накопичується. Положення та амплітуда максимумів залежать від співвідношення  $k_1:k_2:k_3$ , тому експериментальні часові або температурні ряди дають змогу оцінювати лімітуючу стадію. Точки максимумів проміжних форм азоту можуть трактуватися як геохімічні критерії еволюції ВОР. За неізотермічного катагенезу час у рівняннях доцільно замінити інтегралом температурної історії, а параметри моделі калібрувати за результатами піролізу та визначення форм азоту спектроскопічними або хроматографічними методами.

Отже, запропонована система забезпечує математично узгоджений опис послідовного перетворення азотовмісних функціональних груп ВОР і формує основу для зіставлення експериментальних даних із температурно-часовою історією осадових товщ. Водночас схема не відображає паралельних реакцій, зворотних стадій, сорбції на мінералах і втрат інших летких азотовмісних продуктів; ці процеси мають бути враховані під час подальшого розширення моделі. Співвідношення різних амінів або продуктів їх розпаду в розрізі осадових відкладів може служити геохімічним індикатором для реконструкції умов седиментації минулих геологічних епох (наприклад, ступеня аноксії водного басейну).

- Tissot, B. P., & Welte, D. H. (1984). *Petroleum formation and occurrence* (2nd ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-87813-8>
- Vandenbroucke, M., & Largeau, C. (2007). Kerogen origin, evolution and structure. *Organic Geochemistry*, 38(5), 719–833. <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2007.01.001>

УДК 553.981:551.352](262.5)

## **ЗВ'ЯЗОК ГАЗОГІДРАТНИХ ПОКЛАДІВ З ПІДВОДНИМИ КАРБОНАТНИМИ СПОРУДАМИ**

**Олександр ОМЕЛЬЧУК<sup>a</sup>, Ігор ЛОМАКІН<sup>b</sup>**

ДНУ «Центр проблем морської геології, геоекології  
та осадового рудоутворення НАН України», Київ, Україна

<sup>a</sup> e-mail: msstesha@ukr.net; <https://orcid.org/0009-0002-9673-3446>

<sup>b</sup> e-mail: igorlomakin@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-2745-2579>

## **CONNECTION OF GAS HYDRATE DEPOSITS WITH UNDERWATER CARBONATE STRUCTURES**

**Oleksandr OMELCHUK<sup>a</sup>, Igor LOMAKIN<sup>b</sup>**

State Scientific Institution “Center for Problems  
of Marine Geology, Geoecology and Sedimentary Ore Formation  
of the National Academy of Sciences of Ukraine”, Kyiv, Ukraine

При виконанні науково-дослідницьких робіт співробітниками ДНУ «Центр проблем морської геології, геоекології і осадового рудоутворення НАН України» та Інституту геологічних наук НАН України були виявлені скупчення газогідратів, продукти їх розкладання практично на всій акваторії Чорного моря, включаючи північно-західний шельф. Також відібрана колекція зразків під час експедиційних робіт у різні райони Світового океану на наукових суднах з використанням підводних апаратів. На глибинах вище зони стабільності газогідратів метанові грифони зосереджуються в районі каньйонів, вздовж каналів міграції флюїдів, їх просторовий розподіл визначається в першу чергу тектонічними та геоморфологічними умовами.

Під час робіт у Чорному морі, в результаті прямих спостережень за ландшафтно-геологічною обстановкою на морському дні в межах полів газовиділень було встановлено, що газова компонента є лише частиною флюїдного потоку, формування якого зумовлено глибинними процесами дегазації Землі (Геворк'ян & Сокур, 2011). Основна частина флюїдів припадає на рідку насичену розчинними сполуками фазу. У морській воді, що характеризується іншими гідрохімічними параметрами, відбувається процес накладеного біохомогенного осадження з флюїдного потоку переважно карбонату кальцію, що супроводжується карбонатизацією осадового покриву, утворенням на його поверхні кірок, монолітних і пустотілих плит та особливих структурних форм, які були названі чорноморськими «курцями» (Шнюков та ін., 1990).

Характер розподілу карбонату кальцію по розрізу кірок та плитчастих форм вказує на зв'язок джерела карбонатів з латеральним розподілом високомінералізованих вод у придонному шарі по поверхні осадового субстрату. Структура кірок свідчить, що мінералізація поверхневого шару мулів йде

зверху донизу, що підтверджується характерною приуроченістю подібних форм лише до поверхневих шарів осадового покриву. У той же час пряме випадання в осадок мінералізованої компоненти формує натічні утворення, що практично націло складаються з чистого карбонату.

Зразки карбонатних споруд були отримані також у шельфовій зоні Південнокитайського моря за допомогою донного тралу та глибоководного підводного апарату. При порівнянні результатів аналітичних досліджень складу «курців», піднятих з глибин 160–200 м у Чорному морі і з глибин 170–300 м у Південнокитайському морі, можна зазначити деякі відмінності. Насамперед, це стосується силікатної та карбонатної складових, які мають великі значення  $\text{SiO}_2$  на в'єтнамському шельфі за рахунок зменшення  $\text{CaO}$  та  $\text{MgO}$ . Ці відмінності можна пояснити різними джерелами глибинної речовини, що надходить до дна у вигляді флюїдів. Наведені дані дозволяють припустити, що існують варіації у складі газової компоненти флюїдних потоків, а також їхня генетична неоднорідність. Однак основною газовою компонентою залишається все ж таки метанова складова. Чорноморські флюїди низькотемпературні та з низькими дебітами. Генезис чорноморських «курців» зумовлений взаємодією геологічних чинників, одним із яких є надходження продуктів розкладання газогідратного покладу по розломах у водну товщу, що може бути використане для прогнозування та пошуків нетрадиційної вуглеводневої сировини (Геворк'ян & Сокур, 2005). Особливо слід зазначити передумови для формування пов'язаних з ними родовищ у Чорному морі, де можливе існування аналогів таких великих та гігантських нафтових (газоконденсатних, газових) родовищ, відкритих на Південно-В'єтнамському шельфі, як Білий Тигр, Дракон та ін.

У Південнокитайському морі карбонатні тіла пов'язані також з процесами окислення метану метанотрофними бактеріями біля виходів висхідних вуглеводневих потоків (міграція вуглеводневих газів за розломами). Ізотопно-геохімічні дані підтверджують різноманітність їхньої природи та утворення яких пов'язане з метаболізмом мікроорганізмів, приурочених до джерел дегазації.

Слід зазначити, що і Чорне, і Південнокитайське моря можуть розглядатися як схожі регіони у зв'язку з властивою їм глибинною вуглеводневою дегазацією. Великі площі з такими дегазаційними карбонатними спорудами та приуроченість їх до джерел дегазації гетерогенних гранітно-карбонатних масивних резервуарів свідчать про тектоно-геодинамічну схожість цих двох регіонів. А оскільки на в'єтнамському шельфі вже відкриті та розробляються великі родовища нафти та газу, перспективи відкриття нових промислових родовищ вуглеводневої сировини у Чорному морі досить значні, а пошуки, розвідка та розробка будуть рентабельними.

Геворк'ян, В. Х., & Сокур, О. Н. (2005). Генетические особенности черноморских «курильщиков». *Геол. журн.*, 2, 68–82.

Геворк'ян, В. Х., & Сокур, О. Н. (2011). О глубинном происхождении метана в газогидратах. *Геол. журн.*, 3, 105–115. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2011.3.139175>

Шнюков, Е. Ф., Григорьев, А. В., Безбородов, А. А., & Мавренко, Н. И. (1990). Экспедиционные исследования в Черном море (51-й рейс НИС «Михаил Ломоносов», 11.11–14.12 1989 г.). *Геол. журн.*, 4, 130–133.

**ПРОГНОЗУВАННЯ КОЛЕКТОРІВ НА ВЕЛИКИХ ГЛИБИНАХ  
ШЛЯХОМ ІНТЕГРОВАНОГО  
ГЕОЛОГО-ГЕОФІЗИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ**

**Олег ОСТАШ<sup>а</sup>, Валерій ОМЕЛЬЧЕНКО<sup>б</sup>**

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,

Івано-Франківськ, Україна

e-mail: <sup>а</sup> olehostash7@gmail.com; <sup>б</sup> ovgeo@nung.edu.ua

**PREDICTION OF RESERVOIRS AT GREAT DEPTHS  
BY INTEGRATED GEOLOGICAL AND GEOPHYSICAL MODELING**

**Oleh OSTASH<sup>а</sup>, Valeriy OMELCHENKO<sup>б</sup>**

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,

Ivano-Frankivsk, Ukraine

**Актуальність і мета дослідження.** Нарощування власної ресурсної бази вуглеводнів є пріоритетним напрямом розвитку нафтогазової галузі України. У Карпатському регіоні традиційні об'єкти малих і середніх глибин значною мірою вичерпали потенціал, що зумовлює необхідність освоєння горизонтів понад 4,5–5,0 км. Світовий досвід показує, що промислова нафтогазоносність в осадових басейнах може простягатися до 7–8 км і більше. Перспективність глибоких горизонтів Українського Передкарпаття підтверджена бурінням свердловин Шевченкове-1 (7522 м), Лути-1 (6451 м), Новосхідницька-2 (7002 м) та Семигинівська-17 (5451 м).

Освоєння таких об'єктів ускладнюється складною геологічною будовою, високими термобаричними параметрами та невизначеністю збереження колекторських властивостей теригенних порід. Метою роботи є встановлення закономірностей формування, збереження і просторового поширення колекторів у глибокозанурених горизонтах Карпатського регіону та підвищення достовірності прогнозування перспективних об'єктів. Для цього оцінено вплив катагенетичних і тектонічних процесів на ФЄВ, побудовано інтегровані моделі глибинної будови та визначено термобаричні умови і можливий фазовий стан вуглеводнів.

**Об'єкти, матеріали та інформаційна база.** Досліджено глибинну структуру, літолого-фаціальний склад і просторовий розподіл колекторів осадового чохла Карпатського нафтогазоносного регіону. Охоплено теригенні комплекси верхньої крейди, палеоцену, еоцену та олігоцену (стрийська, яремчанська, вигодська, манявська, бистрицька й менілітова світи), насамперед Бориславсько-Покутську, Крукеницьку та Скибову зони. Особливу увагу приділено піднасувним структурам, перекритим потужними тектонічними лусками флішу.

Інформаційну основу становили матеріали глибокого й надглибокого буріння, лабораторні дослідження понад 450 зразків керна (пористість, проникність, водонасиченість, мінеральний склад), а також ГДС, сейсморозвідка 2D/3D та високоточна гравірозвідка. Загальна протяжність сейсмічних профілів перевищує 1200 км; локальні гравітаційні аномалії мають амплітуду до 0,2–0,5 мГал.

**Методика інтегрованого геолого-геофізичного моделювання.** Через інтенсивну дислокованість флішу, круті насуви та неоднорідність розрізу традиційна сейсмічна інтерпретація має обмеження, зокрема ефект «сейсмічної сліпоти». Тому застосовано взаємоузгоджений аналіз сейсмічних і гравіметричних характеристик. У комплексі “Complex.Gravity” спочатку формувався структурно-геометричний каркас за надійними сейсмічними горизонтами; тектонічні порушення і межі шарів задавали межі блоків. Далі виконувалася параметризація густинного розрізу за керном, залежностями «густина–швидкість», акустичним каротажем і ВСП з урахуванням ущільнення та впливу АВПТ.

Для моделі розраховувався теоретичний гравітаційний ефект, після чого залишкове поле визначалося ітераційним розв’язанням оберненої задачі методом epsilon-еквівалентних рішень з апіорними обмеженнями. Після досягнення розбіжності 0,05–0,1 мГал аналізувалися локальні варіації густини цільових пісковиків. Від’ємні аномалії, не пов’язані зі зміною літотипу, розглядалися як можливі зони тріщинуватості, вторинної пористості та флюїдонасичення.

**Основні результати та наукова новизна.** Встановлено, що зміна ФЄВ на великих глибинах має нелінійний характер. Збереження колекторських властивостей визначається комплексною взаємодією термобаричних, гідрохімічних і тектонічних процесів. За коефіцієнта аномальності пластових тисків 1,4–1,9 АВПТ формують «гідродинамічну подушку», що частково компенсує геостатичне навантаження та уповільнює ущільнення; завдяки цьому в ізольованих пісковикових лінзах може зберігатися первинна пористість.

Інтеграція сейсмічних і гравіметричних полів дала змогу локалізувати зони розущільнення та можливі флюїдопровідні канали, а також відокремити ефекти насувних пластин і виявити піднасувні об’єкти. Баричний режим впливає і на фазовий стан вуглеводнів: на великих глибинах можливий перехід нафтових систем у газовий розчин, хоча наявність вільної нафти також підтверджується. Отже, прогноз має враховувати одночасно пастку, колектор і термобаричні умови.

**Практична значущість і висновки.** Поєднання сейсмічних і гравіметричних критеріїв створює додатковий фізичний контроль геологічної моделі, зменшує невизначеність картування складних піднасувних структур і ризик непродуктивного буріння. Тривимірні геогустинні та глибинно-швидкісні моделі дають змогу локалізувати піднасувні антиклінальні структури, їх блокове розчленування та зони покращених ФЄВ. За результатами обґрунтовано перспективність структур Крукеницької підзони та третього–четвертого ярусів складок Бориславсько-Покутської зони.

1. Теригенні товщі на глибинах 5–8 км можуть зберігати кондиційні ФЄВ завдяки спільній дії АВПТ, вторинного вилуговування та тектонічної тріщинуватості.

2. АВПТ із коефіцієнтом 1,4–1,9 сприяють збереженню первинної пористості, а вторинне вилуговування і тектонічні процеси формують додаткову пористість та канали міграції.

3. Для складної покривно-насувної будови інтеграція сейсмічних і високоточних гравіметричних даних є інформативнішою за використання лише МСГТ.

4. Найперспективніші колектори тяжіють до зон вторинного розвантаження тектонічних напруг – уступів фундаменту, фронтальних частин насувів і піднасувних блоків.

5. Методика може бути використана для визначення пріоритетних ділянок пошуково-розвідувального буріння в Карпатському регіоні.

УДК 553.981:551.46(262.5)

## **ГАЗОВІ АНОМАЛІЇ ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОЇ ЧАСТИНИ ЧОРНОГО МОРЯ**

**Олена РИБАК<sup>a</sup>, Олександр ПАРИШЕВ<sup>b</sup>, Ігор ШУРАЄВ<sup>c</sup>, Лада СТУПІНА<sup>d</sup>**

ДНУ «Центр проблем морської геології, геоecології та осадового рудоутворення  
НАН України», Київ, Україна

<sup>a</sup> e-mail: mega.akvatorija@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-5746-7259>

<sup>b</sup> e-mail: paryshev1974@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-1318-9650>

<sup>c</sup> e-mail: igorshuraev91@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-6289-8632>

<sup>d</sup> e-mail: stlada@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0002-5082-0862>

## **GAS ANOMALIES OF THE NORTH-WESTERN BLACK SEA**

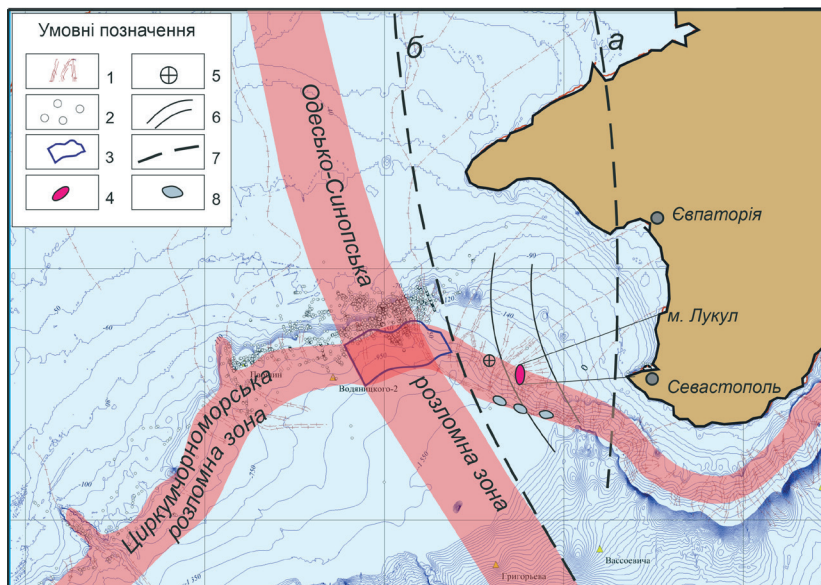
**Olena RYBAK<sup>a</sup>, Oleksandr PARYSHEV<sup>b</sup>, Igor SHURAEV<sup>c</sup>, Lada STUPINA<sup>d</sup>**

State Scientific Institution “Center for Problems of Marine Geology, Geoecology  
and Sedimentary Ore Formation of the National Academy of Sciences of Ukraine”,  
Kyiv, Ukraine

Останні півстоліття характеризувалося активними геологічними та геофізичними дослідженнями Чорного моря, які дали змогу уточнити і сформулювати уявлення про геологічну будову морського дна.

Особливо увагу при дослідженні Чорного моря геологічні організації Причорноморських країн приділяють процесам газовіддачі дна Чорного моря. Насамперед звертають на себе увагу струменеві газові прояви (сипи) як пошукові ознаки вуглеводнів. На площі їх щільного скупчення були відкриті накопичення газогідратів метану – нового виду вуглеводневої сировини. Інтенсивні, нерідко вибухові газові фонтани фіксувалися в грязьових вулканах. На цей час в Чорному морі задокументовано більше 70 грязьових вулканів. З підводних апаратів велися спостереження за газуючими карбонатними спорудами, газовими полями на шельфі та континентальному схилі. При цьому спостерігалися поля розсіяних за площею газових сипів, а також райони газових потоків, виявлених в зонах тектонічних порушень. Здавалося, що за такого детального вивчення, охоплені всі види газовіддачі дна Чорного моря. Однак все ж залишилось маловивченим питання вибухового надходження газу в акваторію під час землетрусів та його займання. Цій тематиці останніми роками присвячена низка публікацій. Пояснити причини газових спалахів намагались і раніше – вже під час кримських землетрусів 1927 р.

Деякі автори (Шнюков & Кобольов, 2021) вказували на величезні масштаби цього раніше недооціненого явища, його повторюваності у геологічній



Вогняні явища, що спостерігались з маяка м. Лукул і м. Севастополь із зазначенням точки найбільшого вогняного явища (12 вересня 3 год 30 хв – 3 год 40 хв):  
 1 – система каньйонів палео-Каланчака; 2 – факели (сипи); 3 – контур поля газогідратів; 4 – спалах газу під час землетрусу 12 вересня 1927 р.; 5 – запеленована точка найбільшого вогняного явища; 6 – зона вогняних спалахів, що спостерігались із мису Лукул і Севастополя; 7 – розломи консолідованого фундаменту: а – Миколаївський; б – Євпаторійсько-Скадовський; 8 – поле акустичної аномалії

історії та недостатній вивченості. Сучасні геолого-геофізичні дослідження показали, що надходження газу в акваторію Чорного моря і його займання під час землетрусів біля північно-західних і південних берегів Криму не пояснюються одними і тими ж причинами. Так, проаналізувавши покази свідків, архівні матеріали маякових служб, виявилось, що в північно-західній частині моря вогняні явища просторово тяжіли до Одесько-Синопської розломної зони та Євпаторійсько-Скадовського глибинного розлому, які в свою чергу перетинають Циркумчорноморську систему розломів. Ці складні тектоно-динамічні системи різномасштабних порушень і слугують каналами міграції глибинних флюїдів і газоподібних вуглеводнів.

У межах цих структур вели дослідження різні організації, в тому числі і ДНУ «Центр проблем морської геології, геоекології та осадового рудоутворення НАН України». Під час морських експедицій НДС «Михайло Ломоносов», «Іхтіандр», «Академік Вернадський», «Професор Водяницький» та ін. були зафіксовані газові прояви, газонасичені осадки, сипи та акустичні (газові) аномалії (рисунок) (Шнюков, 2021).

З розломною тектонікою безпосередньо пов'язана сейсмічність північно-західної частини Чорного моря (Вольвовский & Старостенко, 1996). Під час сейсмічних подій по глибинних розломах виштовхується значна кількість флюїдів. Цей процес, вочевидь, і відбувався на захід від Криму. Полум'я спостерігалось в районі Євпаторійсько-Скадовського розлому. Рух і тертя порід під час поштовхів призводять до виникнення електричних розрядів і, як наслідок, займання газів, що вириваються під час землетрусу.

Це полум'я поширювалося на північ по Євпаторійсько-Скадовському розлому, а на південний схід по Циркумчорноморському, де розташовані акустичні (газові) аномалії. Треба зазначити, що з дна Чорного моря на добу надходять мільйони м<sup>3</sup> метану.

Таким чином, поштовхи призвели до викидів і загорання метану в районі перетинів глибинних розломів, які є каналами розвантаження газово-флюїдних скупчень з нижчих горизонтів. Далі полум'я трасовано поширювалося по цим порушенням, залучаючи до процесу всі газові акумуляції.

Вольвовский, Б. С., & Старостенко, В. И. (Ред.). (1996). *Геофизические параметры литосферы южного сектора Альпийского орогена*. Киев: Наукова думка.

Шнюков, С. Ф. (Ред.). (2021). *Газові факели Чорного моря*. Київ: Геопринт.

Шнюков, С. Ф., & Коболев, В. П. (2021). Вогняні газові плюми під час ялтинських землетрусів 1927 року. *Геологія і корисні копалини Світового океану*, 4, 3–21. <https://doi.org/10.15407/gpimo2021.04.003>

УДК 553.981:551.46(262.5)

## **ГАЗОВІ ВИКИДИ ПІДВОДНИХ ГРЯЗЬОВИХ ВУЛКАНІВ ПІД ЧАС КРИМСЬКИХ ЗЕМЛЕТРУСІВ 1927 Р.**

**Олена РИБАК<sup>a</sup>, Олександр ПАРИШЕВ<sup>b</sup>, Ігор ШУРАЄВ<sup>c</sup>, Лада СТУПІНА<sup>d</sup>**

ДНУ «Центр проблем морської геології, геоекології та осадового рудоутворення  
НАН України», Київ, Україна

<sup>a</sup> e-mail: mega.akvatorija@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-5746-7259>

<sup>b</sup> e-mail: paryshev1974@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-1318-9650>

<sup>c</sup> e-mail: igorshuraev91@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-6289-8632>

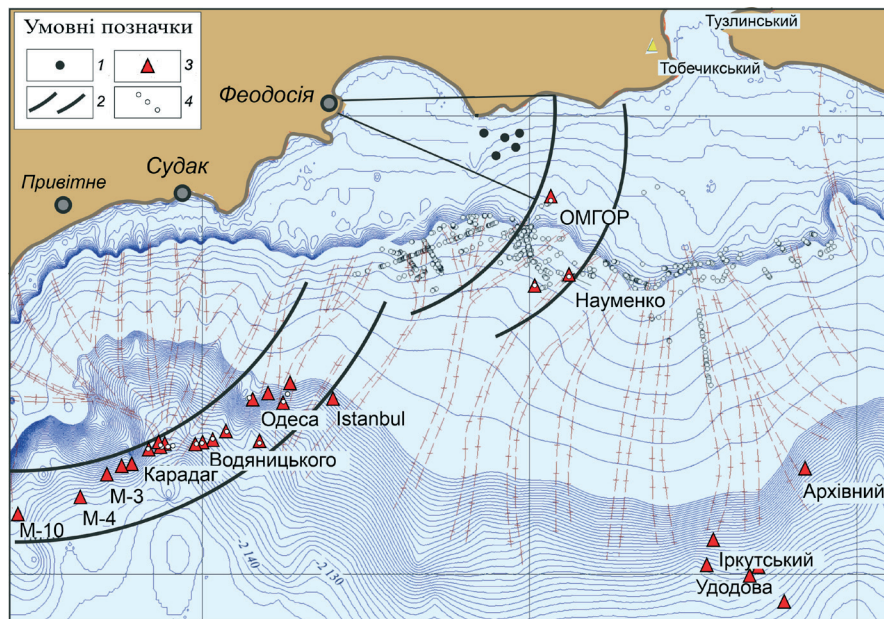
<sup>d</sup> e-mail: stlada@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0002-5082-0862>

## **GAS EMISSIONS OF SUBMARINE MUD VOLCANOES DURING THE 1927 CRIMEAN EARTHQUAKES**

**Olena RYBAK<sup>a</sup>, Oleksandr PARYSHEV<sup>b</sup>, Igor SHURAEV<sup>c</sup>, Lada STUPINA<sup>d</sup>**

State Scientific Institution “Center for Problems of Marine Geology, Geoecology  
and Sedimentary Ore Formation of the National Academy of Sciences of Ukraine”,  
Kyiv, Ukraine

Планетарні катастрофи в біосфері обумовлені різними причинами. Але однією з найвагоміших являються землетруси. Ціла низка руйнівних землетрусів другої половини XX століття, зокрема Ашгабатський, Ташкентський та ін. сейсмічні події початку XXI століття загострили увагу до цієї проблеми. Останні десятиліття охарактеризувалися активними дослідженнями процесів, що формують землетруси. Вивчення зростання напружень надр і структур деформацій, що виникають у них, короткоживучих структур деформацій, пов'язаних із глибинними геодинамічними процесами, наблизили розуміння механізму землетрусу, що готується. Багато років ведеться моніторинг природних явищ, які безпосередньо залежать від сейсмічної обстановки. Це різні



Підводні грязьові вулкани в прогинах Сорокіна та Керченсько-Таманському:  
 1 – підводні грязьові вулкани, виявлені геофізичними методами; 2 – сектор спостережуваних  
 вогняних явищ із с. Привітне та м. Феодосія; 3 – підводні грязьові вулкани; 4 – газові сипи

структури, серед них великий інтерес представляють грязьові вулкани, які, як правило, є складовою частиною сейсмічно активних складчастих систем альпійського віку.

Установлено парагенетичний зв'язок грязьового вулканізму з найбільшими землетрусами (Алиев & Байрамов, 2008). Підводні грязьові вулкани, як і інші структури, магматичні вулкани, поклади нафти і газу, артезіанські свердловини гейзери та ін. являються частиною природних флюїдно-динамічних систем. Тому вивчення фізико-механічних процесів, які безпосередньо в них протікають і активно реагують на зміну поля тектонічних напружень в земній корі, дає позитивні результати для створення сучасних моделей формування землетрусів. Так, викиди великих об'ємів газу, що супроводжувались «вогняними явищами» під час кримських землетрусів 1927 р. на південь від Криму, на нашу думку, пов'язані з підводними грязьовими вулканами. Це активна тектонічна зона – зона переходу від континентального шельфу до крутого схилу Чорноморської западини, що збігається з Циркумчорноморською розломною зоною, у якій відбуваються протилежно спрямовані сучасні вертикальні рухи. Нерівномірність їх проходження супроводжується поштовхами, які спричиняють землетруси. Різномасштабні порушення Циркумчорноморської розломної зони служать міграційними каналами для геофлюїдних потоків та чітко проявляються у розподілі аномальних газових розвантажень у вигляді сипів, факелів, потужних газових фонтанів грязьових вулканів (Шнюков, 2015). Саме тут, на південь та південний схід від Криму, в активних тектонічних зонах прогинів Сорокіна та Керченсько-Таманському, де потужна осадова товща і наявність аномально високих пластових тисків сприяють розвитку глибоководних грязьових вулканів, знаходиться основна їх кількість (рисунок).

Грязьові вулкани є каналами висхідної міграції глибинних газово-флюїдних потоків, які проходять через осадовий розріз і контролюються розломами та флексурно-скидними зонами. Очевидно сейсмічні поштовхи активізували діяльність грязьових вулканів і призвели до катастрофічних викидів глибинних вуглеводнів. Тобто, відбувся прорив потужного мантійного газово-флюїдного потоку в розущільнені активні тектонічні зони прогинів. При цьому сейсмічні поштовхи могли значно посилити об'єми емісії вуглеводнів в атмосферу, що і призвело до появи спалахів (Шнюков & Коболєв, 2021). Все це вказує на подібність причин виникнення «вогняних явищ» як на захід від Криму, так і на південь та південний схід від нього. Різниця полягає в тому, що в першому випадку розглядається надходження газу по великих порушеннях з залученням вже накопичених в цій зоні акумуляції газів в полях газових факелів та газогідратів. Тоді як на півдні та південному сході, газові флюїди були каналізовані по грязьових вулканах.

Алиев, Ад. А., & Байрамов, А. Л. (2008). Влияние сейсмичности на грязевой вулканизм в Азербайджане и некоторые парадоксы. *Тр. Ин-та геологии Аз. АН.*, 36, 40–51.

Шнюков, С. Ф. (2015). *Грязьові вулкани Чорного моря*. Київ: ДНУ ВМГОР НАН України, Логос.

Шнюков, С. Ф., & Коболєв, В. П. (2021). Вогняні газові плюми під час ялтинських землетрусів 1927 року. *Геологія і корисні копалини Світового океану*, 4, 3–21. <https://doi.org/10.15407/gpimo2021.04.003>

УДК 665.5:621:32(091)

## **ВИНАХІД ГАСОВОЇ ЛАМПИ І ЙОГО ЗНАЧЕННЯ ДЛЯ РОЗВИТКУ НАФТОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ**

**Маргарита СЕМЕНЮК**

Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, Львів, Україна,  
e-mail: igggk@mail.lviv.ua

## **THE INVENTION OF THE KEROSENE LAMP AND ITS SIGNIFICANCE FOR THE DEVELOPMENT OF THE OIL INDUSTRY**

**Margarita SEMENYUK**

Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals  
of the NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine

У 30–40-х роках XIX століття в країнах Західної Європи розпочалися експерименти з використанням для освітлення дистилятів кам'яновугільної смоли та сланцевої олії («фотогену»). Водночас удосконалювалася конструкція освітлювальних ламп. Зокрема, після винаходу К. Райдемана (Австрія, 1830) з'явилася можливість регулювати висоту полум'я. Однак через низький вихід сланцевої олії (близько 30 кг з 1 т сланців), вона не набула поширення. Перші спроби дистиляції нафти з метою одержання високоякісного освітлювального продукту здійснив у 1816 р. гірничий чиновник соляних промислів

у Трускавці Йозеф Гекер. Отриманий продукт використовували для освітлення в Дрогобичі, Трускавці та військових казармах Самбора (Mikulski, 1938).

У світовій літературі недостатньо висвітлено факт практичної переробки нафти, яку в 1852–1853 рр. здійснили Ігнатій Лукасевич у співпраці з Яном Зегом. Шинкар і торговець Абрагам Шрайнер передав львівському аптекареві Петру Миколяшу значну кількість сирої нафти для дослідження можливостей її практичного використання, сподіваючись отримати з неї заміник дорогого медичного препарату *Oleum album*. Петро Миколяш доручив проведення досліджень своїм співробітникам Яну Зегу та Ігнатію Лукасевичу. У результаті проведених досліджень їм вдалося не лише здійснити фракційну дистиляцію сирої нафти, а й розробити ефективний метод очищення керосину за допомогою сірчаної кислоти та лугу. Принцип цього способу очищення нафтових фракцій використовується й у сучасній нафтопереробній промисловості. Крім того, вони створили конструкцію ефективної керосинової лампи, яка за основними принципами нагадувала сучасні зразки: мала регульований гніт і скляний циліндр, усередині якого відбувалося стабільне горіння палива. Саме з цього часу розпочався стрімкий розвиток нафтовидобувної промисловості, а також широке використання нафти. Важливу роль у цьому відіграло впровадження нафтових ламп на залізницях Австрійської імперії.

У 1852 р. Австрійське цісарське патентне бюро видало Яну Зегу патент на спосіб отримання з нафти бензинової, керосинової та мазутної фракцій шляхом перегонки за температури 250–350 °С, а нафтовий дистилят стало можливо безпечно спалювати у вдосконаленій олійній лампі, які на початку ХХ ст. називали «ною камфіною». Саме ця безкіптява лампа, що забезпечувала яскраве освітлення, стала основним споживачем продуктів переробки нафти наприкінці ХІХ ст. Значно пізніше бензинову фракцію перегонки нафти почали використовувати як паливо для двигунів внутрішнього згоряння, а не утилізувати як непотрібний побічний продукт. До роботи над удосконаленням лампи був залучений бляхар Адам Братковський, який доповнив її механізмом регулювання гнота та скляним циліндром. Унаслідок цього лампа стала безпечнішою в експлуатації та працювала без кіптяви. Уже в березні 1853 р. нею освітлювали вітрину львівської аптеки Петра Миколяша «Під золотою зіркою», а 31 липня 1853 р. нафтову лампу вперше використали під час нічної хірургічної операції у Львівській загальній лікарні. Після успішного досвіду міська влада ухвалила рішення про запровадження нафтового освітлення в усіх приміщеннях лікарні.

Питання особистого авторства цього винаходу залишається дискусійним. Хоча найчастіше винахід нафтової лампи пов'язують з ім'ям Ігнатія Лукасевича, Ян Зег пізніше заявляв, що основну частину розробок виконав саме він, оскільки мав більший практичний досвід лабораторної роботи. Водночас беззаперечним є те, що дослідник був одним із піонерів становлення нафтової промисловості Галичини (Kachnik, 1982). У 1856–1859 рр. він брав участь у будівництві нафтопереробних підприємств у районі Горлиці – Ясло та освоєнні місцевих нафтових родовищ. Крім того, він був співвласником підприємств із видобутку нафти в Бібрці (нині Польща), а також нафтопереробного заводу в Хорківці, поблизу Коросна, заснованого в 1865 р. У 1888 р.

І. Лукасевича було обрано почесним головою Крайового нафтового товариства, а в 1866 р. – депутатом Краєвого сейму.

Менш успішно склалася доля іншого винахідника – Яна Зега. Поблизу Дрогобича він заснував власну дистилярню, а у Львові відкрив крамницю з продажу її продукції. Проте у 1858 р. сталася трагедія: у львівській крамниці виникла пожежа, під час якої загинули дружина Яна Зега та її сестра. Після цієї події він відійшов від нафтової справи й повернувся до фармацевтичної діяльності. Лиш в 1889 р. він публікує статтю, в якій захищає свій пріоритет в справі винаходу, в тому числі покликаючись на виданий на його ім'я патент на процес очистки освітлювального дистиляту (Zeh, 1889). Ця стаття, однак, практично попала в забуття, лиш в 1935 р. її поновлено, а в післявоєнний час почали з'являтися публікації, в яких обговорюється роль Зега у винаході.

Товариство «Міколяш, Лукасевич і Зег» уклало угоду з громадською лікарнею у Львові про її освітлення газосивими лампами. За цією угодою товариство постачало до лікарні 500 кг газу на місяць, а А. Братковський – необхідні лампи. У липні 1853 р. було освітлено львівську лікарню, а вночі при світлі газосивих ламп було проведено першу складну хірургічну операцію. Цей день увійшов в історію як початок становлення світової нафтової промисловості. У книзі П'єра М. Едмонда Шмітта також наведено твердження: «Поляки. Нафту знають у цій державі від 1506 року».

Досить швидко відомості про те, що у Відні виробляють освітлювальні лампи зі скляною колбою для спалювання керосину, які не спричиняють значного диму та неприємного запаху, дійшли до Нью-Йорка. Імпортовані до США «віденські» лампи швидко знайшли свого покупця. Дещо модернізованими, ними довго торгували у США, а згодом вони поширилися й на інші країни світу.

Можливість отримання з нафти недорогого освітлювального газу та високий попит на нього стимулювали розвиток нафтовидобутку, активізували пошукові й нафтопереробні роботи, зокрема в Галичині та на Прикарпатті. Тодішня урядова статистика свідчить, що у 1880 р. в Галичині на видобувних роботах було зайнято понад 10 тис. осіб.

Епоха використання нафтопродуктів виключно для освітлення виявилася нетривалою. Уже на початку ХХ ст. електроенергія почала поступово витіснити газ. Водночас новий імпульс розвитку нафтової промисловості забезпечили винайдення двигуна внутрішнього згорання та поява автомобілів. Завдяки технічному прогресу «чорне золото» для багатьох держав перетворилося на стратегічно важливий ресурс.

Проте провідні позиції у розвитку нафтової промисловості тривалий час посідала саме Галичина. Згодом промисловий видобуток, переробка та використання нафти швидко поширилися й в інших країнах, зокрема у США, Росії та Румунії. Варто зазначити, що у США автором промислового способу отримання з нафти високоякісного освітлювального газу вважають Томаса Корайда, який у 1854 р. запатентував новий різновид вуглеводню – «керосен» (від грецьких слів, що означають «віск» і «олія»). Водночас історичний початок нафтопереробки пов'язують із діяльністю професора Львівського університету Яна Зега, який 16 квітня 1853 р. довів можливість перегонки сирої нафти та одержання очищеного газу, придатного для освітлення.

- Kachlik, K. (1982). Ignacy Łukasiewicz – od nafty świetlnej do rafinerii nafty. *Nafta*, 38(7–8), 81–82.
- Mikucki, T. (1938). Nafta w Polsce do potowy XIX wieku. *Pizemyst Naftowy*, 17, 461.
- Zeh, J. (1889). Pierwsze objawy przemysłu naftowego w Galicji. *Czasopismo towarzystwa aptekarskiego*, 18(12), 201–205.

**THE MIDDLE MIOCENE FORE-CARPATHIAN BASIN:  
A SYNTHESIS OF 25 YEARS  
OF POLISH-UKRAINIAN COLLABORATIVE RESEARCH**

**Anna WYSOCKA**

Institute of Geological Sciences of the Polish Academy of Sciences, Warsaw, Poland  
<https://orcid.org/0000-0003-1015-5033>

**ПЕРЕДКАРПАТСЬКИЙ БАСЕЙН У СЕРЕДНЬОМУ МІОЦЕНІ:  
ПІДСУМОК 25 РОКІВ ПОЛЬСЬКО-УКРАЇНСЬКИХ  
СПІЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ**

**Анна ВИСОЦЬКА**

Інститут геологічних наук Польської академії наук, Варшава, Польща

The Middle Miocene transgression profoundly transformed extensive areas of southern Poland, western Ukraine and Moldova, creating a complex marine domain along the northern and northeastern margin of the evolving Carpathian orogenic belt. This domain formed part of the Central Paratethys and broadly followed the curvature of the Carpathian arc, indicating a close relationship between marine inundation, regional tectonics and global sea-level changes. The present contribution synthesizes the results of 25 years of collaborative research conducted by a broad group of Polish and Ukrainian geologists, palaeontologists and sedimentologists. It brings together the outcomes of numerous field campaigns, studies of classical and newly opened exposures, and multidisciplinary analyses undertaken across the Fore-Carpathian region. Particular emphasis is placed on the tectonic, palaeogeographic and sedimentary evolution of the basin, its subdivision into foredeep, forebulge and backbulge depozones, and the development of large-scale sandy bodies.

Despite more than two centuries of geological investigations, the regional stratigraphic framework remains incomplete. Repeated political and administrative changes resulted in the development of different national lithostratigraphic schemes, while many units in western Ukraine have limited geographical ranges and represent laterally separated facies. Correlation is further complicated by the disappearance of historical exposures and the continuing development of new quarries and sand pits. The latter provide exceptional three-dimensional access to sedimentary structures, facies relationships and fossil assemblages and have played an important role in the joint Polish–Ukrainian research conducted during the last quarter of a century. A fundamental issue concerns the distinction between the Fore-Carpathian Basin and the Carpathian Foredeep. The Fore-Carpathian Basin is defined here as the entire Middle Miocene marine domain extending from the Carpathian margin to the maximum landward reach of marine waters. The Carpathian Foredeep represents

its tectonically subsiding part, formed directly in front of the advancing Carpathian thrust-and-fold belt. In terms of the foreland basin system concept, the basin can be subdivided into foredeep, forebulge and backbulge depozones. The foredeep migrated progressively cratonward in response to orogenic loading, whereas the forebulge formed farther outward as an isostatic uplift. The broad zone beyond the forebulge is interpreted as the Fore-Carpathian Backbulge Basin.

The lower part of the Middle Miocene succession is relatively uniform and begins with transgressive quartz sands, sandstones, clays and marls, overlain by a regionally extensive evaporitic and chemical interval. Their continuity suggests that differentiation into individual tectonic depozones was initially weak. Major structural reorganization is recorded in the supra-evaporitic succession, where differential subsidence and uplift produced pronounced contrasts in facies and thickness. Fine-grained deposits in the foredeep locally reach several kilometres, whereas the forebulge and backbulge domains show a more heterogeneous facies architecture.

Particularly important are the large-scale sandy bodies exposed in the Roztocze, Opole Minor and Ternopil regions. They preserve migrating megaripples, sand bars, large-scale cross-stratification, slump structures, liquefaction features and deposits formed by waves, storms and currents. The Mykolaiv Sands accumulated upon an irregular Upper Cretaceous basement shaped by Palaeogene erosion. Their thickness varies strongly, reflecting the infilling of inherited depressions. During the early stages of transgression, bottom relief controlled current directions and facies distribution, while slumping, liquefaction and possibly seismic activity locally produced thick homogenized sand bodies. In the Ternopil region, progradational sandy successions and gravity-driven deposits record the interaction between shallow-marine siliciclastic sedimentation and the neighbouring Medobory reef complex. A large-scale mass movement at Lozova transported biogenic material from the reef area, demonstrating substantial seafloor relief and the contemporaneous development of sandy and carbonate facies.

The large volume and high compositional maturity of the quartz sands remain difficult to explain. They formed a regional sedimentary prism along the East European Platform margin but did not extend into the rapidly subsiding foredeep. Their source was probably related to deeply weathered Palaeogene covers of Podolia and Volhynia, although the mechanisms of sediment delivery remain uncertain.

This synthesis of 25 years of joint Polish–Ukrainian research demonstrates that the lateral and vertical facies architecture of the Fore-Carpathian Basin records a complete transgressive–regressive cycle controlled by the Middle Miocene evolution of the Carpathian orogen. At the same time, it highlights major unresolved questions concerning the timing and migration of individual depozones, regional stratigraphic correlations, the synchronicity of sandy and reefal facies, and the influence of the Middle Miocene Climatic Optimum and subsequent cooling on sediment supply and biotic diversity. The accumulated results provide a foundation for further integrated and cross-border studies of the Middle Miocene evolution of the Carpathian foreland.

***Unconventional поклади вуглеводнів:  
метан вуглепородних масивів,  
«сланцевий» газ, газ ущільнених колекторів,  
газ центральнобасейнового типу***

---

УДК(553.93:552.571.1):551.243.8](477)

**ФОРМУВАННЯ ТЕХНОГЕННИХ КОЛЕКТОРІВ  
У ВУГІЛЬНИХ БАСЕЙНАХ**

**Наталія ВЕРГЕЛЬСЬКА<sup>a</sup>, Вікторія ВЕРГЕЛЬСЬКА<sup>b</sup>, Ігор СКОПИЧЕНКО<sup>c</sup>**

Державна установа «Науковий центр гірничої геології, геоecології  
та розвитку інфраструктури Національної академії наук України», Київ, Україна

<sup>a</sup> e-mail: vnata09@meta.ua; <https://orcid.org/0000-0002-1440-6082>

<sup>b</sup> e-mail: vvika10@meta.ua; <https://orcid.org/0000-0002-6206-710X>

<sup>c</sup> e-mail: i.skopychenko@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-0333-2698>

**FORMATION OF MAN-MADE COLLECTORS IN COAL BASINS**

**Nataliia VERGELSKA<sup>a</sup>, Viktoriia VERGELSKA<sup>b</sup>, Ihor SKOPYCHENKO<sup>c</sup>**

State Institution “Scientific Center of Mining Geology, Geoecology and Infrastructure  
Development of the National Academy of Sciences of Ukraine”, Kyiv, Ukraine

Газ-метан вугільних родовищ найбільш актуальний для вивчення та видобутку у Донецькому та Львівсько-Волинському кам'яновугільних басейнах. Газоносність вугленосних товщ, вугілля та вміщуючих порід значною мірою сформувалася шляхом просторового перерозподілу газової суміші, і в наш час є можливість досліджувати газ як у непорушеному вуглепородному масиві, так і в новоутворених техногенних колекторах (Вергельська та ін., 2024).

За попередніми оцінками фахівців ресурси газу-метану вугільних басейнів співрозмірні із запасами традиційних вуглеводнів та зберігають актуальність для видобутку у відпрацьованих ділянках чи закритих шахтах. Дослідженнями різних аспектів газоносності вугільних басейнів України займалися А. Я. Радзівілл, В. В. Лукінов, Л. І. Пимоненко, Н. В. Вергельська, А. В. Анциферов, Є. С. Бартошинська, О. І. Кравцов, Х. Ф. Джамалова, А. М. Брижаньов, Г. Д. Лідін та багато інших.

*Мета дослідження* – визначення особливості формування техногенних колекторів вуглепородних масивів та акумуляції газу у них.

В основу дослідження покладено результати досліджень у Донецькому, в тому числі й Західний Донбас, (2005–2026 рр.) та Львівсько-Волинському (2022 р.) басейнах. Проведено узагальнення геологічної інформації, описано породи техногенних колекторів та встановлено склад газової суміші техногенних колекторів. Хроматографічні дослідження проведено у ДП «Укрнаукагеоцентр», м. Полтава, аналітик Н. В. Сіра.

Геологічна будова і тектоніка вугільних басейнів, аналіз сучасних геологічних матеріалів шахтних служб та тривалих власних досліджень свідчить, що утворення складчастих форм вуглепородних масивів відбувалося

протягом всієї геологічної історії розвитку вугленосних регіонів. Перерозподіл газонасичених зон та шляхів міграції у вуглепородних масивах продовжується й тепер, що пов'язано як з формуванням техногенних колекторів при відпрацюванні вугільних пластів, так і з сучасною міграцією газів (флюїдів) (Вергельська, 2012; Вергельська та ін., 2011).

Формування техногенних колекторів розпочинається з початком підготування вугільного пласта до розробки і триває до закінчення відпрацювання вугільної виробки. За цей час формується вуглепородна чи породна товща, яка за своїми розмірами перевищує потужність вугільного пласта у 1,5–2,5 рази (Вергельська, 2012). У більшості випадків основний склад порід новоутвореної техногенної товщі відповідає надвугільному горизонту: аргіліт, алевроліт, сланці, пісковики, у тому числі й вуглисті, зрідка вапняк та породи з вмістом глауконіту.

При прогнозуванні у техногенних колекторах газонасичених зон, варто враховувати водоносні горизонти вуглепородних масивів, які можуть виступати як транспортні артерії для переміщення водо-газових розчинів. Оскільки вода може як поглинати газові суміші, так і віддавати гази при зміні температури у вуглепородних масивах. Зокрема, температура вуглепородного масиву, як і тектоніка, впливає на якісні та кількісні характеристики газової суміші, які мігрують вертикально та можуть вступати у взаємодію з породами масиву.

Визначаючи умови насичення техногенних колекторів, доцільно розглядати не тільки дифузію у вуглепородному масиві, а й його темпове насичення газом. Наповнення техногенних колекторів, за рахунок дифузії, контролюється гірничо-геологічними особливостями масиву, які корелюються зі структурно-тектонічною. За умови темпового насичення техногенних колекторів вуглепородних масивів газовими сумішами: рух газу (флюїдів) визначається та контролюється величиною періодів активації тектонічних розривних порушень та часом надходження до них вуглеводнів, які й акумулюються у новостворених ділянках. Зауважимо, що темпове накопичення дозволяє досить швидко заповнювати техногенний колектор і такий тип характерний для ділянок із розривними тектонічними порушеннями. В той час, як за рахунок дифузії відбувається більш повільне заповнення ділянок менше порушених (чи без розривних порушень) тектонікою.

Сучасний стан газонасиченості вуглепородних масивів є результатом тектонічних процесів, які є син- та постгенетичними відносно періодів формування вугільних пластів. Газові суміші техногенних колекторів складають переважно термогенні гази та відносно незначна кількість біогенних і мігруючих із глибших горизонтів, у тому числі з глибинних джерел. Генезис, міграція, форми знаходження вуглеводнів у техногенних колекторах вуглепородних масивів та вугленосних товщах аналогічні процесам, характерним для природних газів у осадових формаціях (Вергельська та ін., 2024). Отже, умови насичення техногенних колекторів вугільних басейнів нижчими насиченими і ненасиченими вуглеводнями визначаються величиною періодів збільшення чи зменшення пропускної здатності тектонічних розривних порушень з часом надходження до них вуглеводнів.

При дослідженні техногенних колекторів діючих шахт встановлено: зони флюїдної міграції залишаються активними і після відпрацювання вугільної

виробки у попередньому режимі. Якісна газова складова у відпрацьованому просторі корелюється із порушеннями вуглепородного масиву: у зонах порушень вуглепородного масиву, крім збільшення кількості газу, збільшуються й якісні складові газової суміші відносно непорушених зон (Вергельська, 2012). Перерозподіл газу у техногенних колекторах, як і у відносно непорушеному масиві пов'язаний з кожною тектонічною активацією, в тому числі й сучасними землетрусами.

Вергельська, Н. В. (2012). Газоносність відпрацьованого простору діючих шахт Донбасу. *Тектоніка і стратиграфія*, 39, 30–33.

Вергельська, Н. В., Вергельська, В. В., & Скопиченко, І. М. (2024). Особливості використання техногенних колекторів вуглепородних масивів Донецького басейну. *Мінеральні ресурси України*, 3, 54–60. <https://doi.org/10.31996/mru.2024.3.54-60>

Вергельська, Н. В., Правоторова, О. В., & Назарова, І. О. (2011). Про особливості газової складової вугільних пластів в тектонічно активних зонах (на прикладі ділянки Північно-Родінська-2 ДП ВК «Краснолиманська»). *Наукові праці УкрНДМІ НАН України*, 9(2), 440–450.

УДК 553.981

## **ВИКЛИКИ ТА АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ У ПОШУКУ ПРИРОДНОГО ВОДНЮ**

**Юрій ВИХОТЬ<sup>1, 2</sup>, Соломія КРІЛЬ<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Львівський національний університет імені Івана Франка, Львів, Україна  
e-mail: yuvik@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0002-7588-9540>

<sup>2</sup> Львівське відділення УкрНДІгазу, АТ «Укргазвидобування», Львів, Україна  
e-mail: solia\_kr@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0001-5790-5431>

## **CHALLENGES AND ACTUAL PROBLEMS IN THE EXPLORATION FOR NATURAL HYDROGEN**

**Yuriy VIKHOT<sup>1, 2</sup>, Solomiia KRIL<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Ivan Franko National University of Lviv, Lviv, Ukraine

<sup>2</sup> Lviv Branch of UkrNDIgas, JSC Ukrasvydobuvannya, Lviv, Ukraine

Пошук та розвідка природного, або геологічного, водню є абсолютно новим напрямом у геологорозвідуванні. В останні роки науковці з усього світу та представники нафтогазової промисловості, а особливо стартапи і навіть представники бізнесу, що бажають вкладати у щось нове, яке може дати надвисокий прибуток у пошуку безвуглецевої альтернативи вуглеводням та поштовх до розвитку економіки із зменшеними викидами CO<sub>2</sub>, почали активно обговорювати ймовірність знаходження природного водню, як невичерпної корисної копалини, що постійно генерується у надрах Землі.

Останніми роками з'являється інформація з різних джерел – наукові статті, оглядові статті у інформаційних журналах, соціальних та наукових мережах тощо – про виявлення можливих перспективних ділянок з природними джерелами водню у різних регіонах світу. Серед низки невіршених питань та проблем, що обговорюються, є – деякі надто обмежені практичні

рекомендації під час проведення пошукових робіт із визначенням підвищеного вмісту водню. Крім того, деякі компанії із залученням інвесторів здійснюють буріння перших тестових розвідувальних свердловин, як у вигляді супутнього компоненту вуглеводневих сумішей, так і власне самостійно на водень (США, Австралія, Канада та ін.).

Основна мета публікації – розглянути основні виклики та проблеми у пошуку та подальшій розвідці природного водню за аналізом останніх опублікованих даних, моніторингу розвитку вуглеводневих проєктів у світі, за публікаціями по проблемі із різних частин світу і з'ясувати як це може вплинути й на розвиток водневої галузі в Україні, що теж потребує альтернативних джерел енергії, здешевлених стратегічних безвуглецевих корисних копалин.

Серед наукових спільнот з'являється низка різноманітних концепцій про природу, генерацію, шляхи міграції та накопичення природного водню, які вони намагаються узгодити між собою з використанням фізичних та геохімічних властивостей цієї корисної копалини та незначними даними про склад газу під час буріння чи проведення польових поверхневих газогеохімічних досліджень. Якщо брати до уваги промислові спільноти, представників нафтогазопромислової геології, то вони шукають ті незначні рекомендації щодо зменшення ризиків у геологорозвідувальних роботах, пов'язаних із пошуками природного водню.

Не так давно природний, або геологічний водень почали вносити у деяких країнах у список корисних копалин, який у подальшому можна було б розвідувати, видобувати, продавати. Геологічний водень є одним із основних корисних копалин, який міг би стати альтернативою традиційним вуглеводням та основою безвуглецевої економіки країн.

Деякі програми у Європейському Союзі теж цілеспрямовано націлені на розвиток та розуміння водневих систем, пошуку та розвідки основних джерел та можливого накопичення природного водню. Для прикладу, у програмі *Horizon Europe* напрям природного («білого», геологічного) водню активно розвивається. Раніше програма фокусувалася виключно на штучному (зеленому або блакитному) водні та його підземному зберіганні. Проте зараз напрям розвідки та видобутку геологічного водню отримав окремий фінансовий і науковий пріоритет. Для прикладу, одним із головних проєктів *Horizon Europe*, що стосуються геологорозвідки та накопичення природного водню у 2025 році був спеціальний конкурс для розвідки природного водню – назва теми: **HORIZON-JU-CLEANH2-2025-01-07: Towards exploration and evaluation of European natural hydrogen potential** («На шляху до розвідки та оцінки потенціалу природного водню в Європі»), що фінансується Партнерством *Clean Hydrogen Partnership* у межах програми *Horizon Europe*. Основні особливості конкурсу – розробка методологій для оцінки потенціалу природного водню в Європі; розробка та тестування нових сенсорів, дистанційного зондування та газогеохімічних методів зйомки, вивчення систем міграції, генерації (серпентинізація, радіоліз) та пасток для  $H_2$ ; залучення національних геологічних служб та інститутів Європи для побудови єдиної геологічної карти потенціалу. Львівський національний університет імені Івана Франка спільно з АТ «Укргазвидобування» під керівництвом та у співпраці із іншими університетами Європи теж подавав заявку на участь у конкурсі. Заявка

отримала високі бали, проте фінансування отримали інші компанії та університети, що мають багаторічний досвід, пов'язаний із водневою тематикою.

Офіційне внесення природного водню до Переліку корисних копалин загальнодержавного значення у травні 2025 року заклало нормативну основу для розвитку водневої геології в Україні. Проте практична реалізація пошуково-розвідувальних робіт стикається із серйозними викликами та проблемами. Фізико-хімічні та міграційні властивості водню  $H_2$  відрізняються від властивостей інших вуглеводнів (метану, нафти). Таким чином, традиційні підходи нафтогазової геології здаються малоефективними, або такими, що потребують вдосконалення. Серед найважливіших викликів та ключових проблем є геологічні та геохімічні, технологічні, відсутність нормативно-методичних документів, які навіть на початковому етапі стримують розвиток водневої галузі в Україні.

*Геологічні та геохімічні виклики.* Основними проблемами виявлення скопчень водню є його унікальна рухливість, оскільки  $H_2$  має надвисоку дифузійну здатність. Залишається нез'ясованим, чи традиційні для нафтогазових басейнів України породи-покришки можуть утримувати тривалий час цей газ і формувати потенційні поклади. Іншим викликом є висока хімічна та біологічна активність водню, який під час міграції у верхні горизонти активно «з'їдається» або витрачається на інші хімічні реакції з відновлення.

*Технологічні та методичні проблеми.* Існуючий комплекс геологорозвідувальних робіт в Україні залишається технічно «сліпим» щодо геологічного водню. Під час буріння свердловин в Україні польова стандартна газова хроматографія налаштована виключно на фіксацію вуглеводнів ( $C_1$ – $C_2$ ). Хоча варто зауважити, що провідна державна нафтогазова компанія України з початку 2025 року встановила датчики для визначення вмісту водню під час буріння, які працюють у тестовому режимі.

*Нормативно-методичні бар'єри.* Попри законодавче внесення водню як корисної копалини, Державна комісія по запасах (ДКЗ) України наразі не має затверджених інструкцій, класифікацій та критеріїв для підрахунку та визначення ресурсів природного водню. Відсутнє наукове обґрунтування гранично допустимих концентрацій геологічного водню у газових сумішах для визначення економічної рентабельності таких водневих родовищ.

Освоєння геологічного водню в Україні стримується вище зазначеними факторами. Серед яких відсутність критеріїв пошуку водневих пасток, технологічна неготовність діючого бурового обладнання, станцій ГТД, відсутність методики підрахунку запасів у ДКЗ. Для вирішення цих проблем необхідна розробка національної методичної бази пошуку  $H_2$ , модернізація газометричного обладнання на свердловинах та залучення міжнародного досвіду розвідки динамічних водневих систем. Очевидно, через незначний час з'являться нові, альтернативні концепції, здатні вирішити існуючі розбіжності та запропонувати правдоподібні рішення для усунення перешкод та проблем, що існують на шляху до розвитку цієї нової водневої галузі у світі та в Україні зокрема.

**ВИВЧЕННЯ ПІСКОВИКІВ СТРИЙСЬКОЇ СВІТИ  
У ПРИРОДНИХ ВІДСЛОНЕННЯХ  
ВЗДОВЖ МАРШРУТУ ВЕРХОВИНА–КОСІВ**

**Сергій ДУМЕНКО<sup>1</sup>, Володимир ХОМИН<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> ТОВ «Віва Експлорейшн», с. Кальна, Івано-Франківська обл., Україна  
e-mail: dumenkos@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0000-9076-8352>

<sup>2</sup> Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,  
Івано-Франківськ, Україна  
e-mail: volodymyr.khomyn@nung.edu.ua; <https://orcid.org/0000-0002-7787-6903>

**STUDY OF SANDSTONES OF THE STRYI FORMATION  
IN NATURAL OUTCROPS  
ALONG THE ROUTE VERCHOVYNA–KOSIV**

**Sergiy DUMENKO<sup>1</sup>, Volodymyr KHOMYN<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Viva Exploration LLC, Kalna, Ivano-Frankivsk region, Ukraine

<sup>2</sup> Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,  
Ivano-Frankivsk, Ukraine

Протягом останніх років авторами проводиться детальне вивчення поширеності пісковиків у розрізі стрийської світи верхньокрейдових відкладів Українських Карпат за даними природних відслонень. Роботами передбачено суцільний огляд відслоненого розрізу відкладів стрийської світи в регіональному охопленні за чотирма профілями, що дозволить рівномірно дослідити відклади стрийської світи на наявність піщаних тіл. У ході проведення польових маршрутів виявлені піщані тіла детально описуються, здійснюється їх точна координатна прив'язка, а також відбираються зразки пісковиків для їх подальшого детального лабораторного аналізу з метою визначення фільтраційно-ємнісних характеристик. Лабораторні аналізи проводяться у співпраці з Інститутом нафти і газу – Державним дослідницьким інститутом, що знаходиться у місті Краків, Республіка Польща, та включають повний комплекс сучасних методів оцінки пористості та проникності традиційних колекторів нафти і газу.

Вивчення характеру поширеності пісковиків у розрізі відкладів стрийської світи Українських Карпат має важливе практичне значення для постановки нових нафтогазопошукових робіт. Оскільки стрийська світа загалом складена породами-покришками, то визначення місць та закономірностей розвитку якісних колекторів у її розрізі дає перспективу відкриття нових родовищ вуглеводнів. Товщина таких піщаних комплексів за літературними даними може становити десятки метрів, що, у разі присутності якісних колекторів, створює передумови для формування значних за запасами родовищ нафти і газу.

На сьогоднішній день авторами було опубліковано інформацію про закінчення польового етапу робіт за двома регіональними профілями розташованими вздовж русла річки Прут та русла річки Свіча. У даній роботі вперше наводяться відомості про закінчення польового етапу робіт вздовж третього,



Підскови́к стрийської світи верхньокрейдового віку у відслоненні вздовж русла річки Рибниця, в межах складки Брусного

найбільш південного регіонального профілю. Даний польовий маршрут простягався від селища Верховина до міста Косів та закладений уздовж русел річки Чорний Черемош – струмка Буковець – річки Рибниця. Проектування маршруту досліджень враховувало необхідність охарактеризувати піщанистість розрізу стрийських відкладів у найбільш південно-східній частині Українських Карпат, враховуючи обмеження, зумовлені особливим статусом прикордонних територій під час воєнного стану в Україні.

У результаті вивчення всіх відслонень стрийської світи вздовж багатоденного регіонального маршруту можна констатувати добру відслоненість відкладів стрийської світи у межах Орівської скиби, складки Максимця, складки Плоского та складки Брусного. Хоча у цій частині Українських Карпат на денну поверхню виходить тільки верхня частина розрізу стрийської світи, у цілому ряді відслонень вдалось виявити наявність піщаних тіл, що візуально можуть бути охарактеризовані як можливі колектори для формування промислово значимих родовищ нафти і газу. З цих відслонень було відібрано шістнадцять взірців пісковика, з яких у подальшому тринадцять взірців було направлено у лабораторію Інституту нафти і газу – Державного дослідницького інституту (м. Краків) для проведення детального вивчення їх фільтраційно-ємнісних властивостей.

Результати польового етапу робіт вздовж третього регіонального профілю ще раз підтверджують доцільність та перспективність розпочатих досліджень. Чудова відслоненість порід розрізу в межах Карпат забезпечує найбільш простий та економічно обґрунтований доступ до цільових горизонтів для їх вивчення, особливо коли мова йде про регіональний характер досліджень. Хоча кількісна характеристика фільтраційно-ємнісних властивостей порід стрийської світи вздовж даного перерізу буде надана вже після закінчення лабораторних досліджень, констатувати факт наявності пісковиків-колекторів у розрізі стрийської світи в південно-східній частині Карпат за профілем досліджень Верховина-Косів можна вже сьогодні. Таким чином ще раз

підтверджується регіональний характер поширення пісковиків у розрізі стрийської світи верхньої крейди Українських Карпат.

Думенко, С. С. (2026). Особливості вивчення колекторських властивостей відкладів стрийської світи крейди Українських Карпат у поверхневих умовах. *Мінеральні ресурси України*, 1, 44–50. <https://doi.org/10.31996/mru.2026.1.44-50>

Думенко, С. С., & Хомин, В. Р. (2025). Особливості поширення порід-колекторів у розрізі стрийської світи Скибової зони Українських Карпат. Стан вивченості та напрямки подальших досліджень. *Нафтогазова енергетика*, 1(43), 13–22. [https://doi.org/10.31471/1993-9868-2025-1\(43\)-13-22](https://doi.org/10.31471/1993-9868-2025-1(43)-13-22)

UDC 548.4:549:552.3:553.3 (477)

# **A METHOD TO DETERMINE FORECASTING CRITERIA AND SEARCH MARKERS FOR HYDROCARBON DEPOSITS ON THE SEA SHELF (USING THE EXAMPLE OF THE NORTHWESTERN BLACK SEA SHELF)**

**Valentyna YANKO<sup>1,a</sup>, Volodymyr KADURIN<sup>1,b</sup>, Hanna KRAVCHUK<sup>1,c</sup>,  
Olena DIKOL<sup>1,d</sup>, Ihor NAUMKO<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Odesa I. I. Mechnikov National University, Odesa, Ukraine

<sup>a</sup> e-mail: valyan@onu.edu.ua; <https://orcid.org/0000-0003-3735-047X>

<sup>b</sup> e-mail: vl.kadurin@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-3735-047X>

<sup>c</sup> e-mail: aokravchuk@onu.edu.ua; <https://orcid.org/0000-0003-3735-047X>

<sup>d</sup> e-mail: lenka.dikol@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-3735-047X>

<sup>2</sup> Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals  
of the NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine

e-mail: naumko@ukr.net, igggk@mail.lviv.ua; <https://orcid.org/0000-0003-3735-047X>

# **МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ПРОГНОЗНИХ КРИТЕРІЇВ ТА ПОШУКОВИХ МАРКЕРІВ ПОКЛАДІВ ВУГЛЕВОДНІВ НА МОРСЬКОМУ ШЕЛЬФІ (НА ПРИКЛАДІ ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОГО ШЕЛЬФУ ЧОРНОГО МОРЯ)**

**Валентина ЯНКО<sup>1,a</sup>, Володимир КАДУРІН<sup>1,b</sup>, Ганна КРАВЧУК<sup>1,c</sup>,  
Олена ДІКОЛ<sup>1,d</sup>, Ігор НАУМКО<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Одеський національний університет імені І. І. Мечникова, Одеса, Україна

<sup>2</sup> Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, Львів, Україна

A comprehensive system of predictive criteria and prospecting indicators for hydrocarbons on the offshore shelf has been developed based on the theory of global fluidogenesis (the fluidogenic origin of hydrocarbon deposits) (Naumko, 2020). In addition, a methodology is proposed for directional-rank correlation of geological-geophysical information as the basis for the Ukrainian Patent for a utility model titled “Method for Determining Predictive Criteria and Exploration Indicators of Hydrocarbon Deposits on the Continental Shelf” (Yanko et al., 2022). The goal of the utility model is to create a comprehensive method for interpreting the genesis of hydrocarbon deposits in the stratified sedimentary cover of shelf seas. Using this ranking for a specific objective involving data from the Black Sea

sedimentary cover, these are the kinds of information one would need to know before applying the search criteria. (Chepizhko et al., 2020): (1) seismic data obtained using the deep seismic sounding method, MVH ZGT; (2) parameters of tectonic-geodynamic structures; (3) main characteristics of the sedimentary cover deposits and the bedrock of the seabed; (4) geochemical characteristics; (5) parameters of mineralogical complexes and fluid inclusions in minerals; and (6) values of meiobenthos distribution. Fluid flow is reflected in geophysical, geostructural, geochemical, mineralogical, and paleontological data, each of which forms the basis of a category and provides a description of fluid flow in terms of its sensitivity on the deposit. Geophysical and geostructural ranks contain regional information and can be classified as predictive criteria. Geochemical, mineralogical, and paleontological ranks are direct exploration indicators, with each subsequent one narrowing the search area. This makes it possible, based on expert analysis, to identify a hierarchical sequence for applying information ranks and, using a set of obtained parameters via a directional-rank method, to determine the location of a hydrocarbon deposit within the offshore shelf.

The method is carried out as follows:

Stage 1. Within the offshore shelf, in a selected prospective area for the exploration and appraisal of oil and gas deposits, three-dimensional sections with an increased tendency of fluids to rise (degassing pipes) are identified within the area using analysis of geophysical and geostructural data.

Stage 2. At the locations where degassing pipes emerge onto the seabed, the structure and composition of the fluid flow are determined based on geochemical and mineralogical sampling. In doing so, both the gas-liquid component of the fluid (based on gas chromatography and the separation of liquid hydrocarbons) and the mechanisms of fluid entrapment within the crystalline structure of clay minerals and in mineral inclusions (X-ray diffraction analysis and thermobarogeochemistry) are evaluated.

Stage 3. Within the identified anomalies, micropaleontological testing is conducted, and using these data, microbenthic biocenoses are calculated, which capture an influence of the fluid flow over a short time interval using the micropaleontological method.

Stage 4. All databases – geophysical, geostructural, geochemical, mineralogical, and paleontological – are structured in their respective formats and converted into information ranks.

Stage 5. An expert analysis is conducted, and a rank matrix is calculated, which allows the ranks to be arranged in an ordered sequence relative to the predicted deposit formed as a result of effects of an upward fluid flow into the sedimentary cap reservoirs, conveyed by the degassing pipe.

Stage 6. By calculating the concordance coefficient (expert agreement on ranks), the correctness of the chosen direction of interpretation of the information based on ranks is confirmed.

Stage 7. A directional-rank, informationally consistent, comprehensive method is then developed for determining the location of a hydrocarbon deposit within the sedimentary cover of a prospective area within the offshore shelf.

An example is provided of the field testing of this method in the promising Pradnprovskiy and Karkinitskiy blocks within the northwestern shelf of the Black

Sea, which was carried out by staff members of the Department of Marine Geology, Hydrogeology, Engineering Geology, and Paleontology, and the Research Laboratory of Marine Geology, Geochemistry, and Paleontology at I. I. Mechnikov Odessa National University (Chepizhko et al., 2020; Yanko et al., 2022). A map was created for the comprehensive interpretation of geological, geophysical, and geochemical information regarding the genesis of hydrocarbon deposits that provided evidence of upward flow of deep hydrocarbon-bearing fluid in the stratified sedimentary cover of shelf seas. This map displays predictive parameters that significantly narrow the range of prospective sites and vertical levels of hydrocarbon-bearing sediment accumulation. It will, consequently, contribute to the discovery of new oil and gas fields in offshore waters.

FORMULA OF THE UTILITY MODEL (Yanko et al., 2022):

A method is proposed for determining predictive criteria and prospecting indicators for hydrocarbon deposits on the offshore shelf in which samples are taken from near-surface sediments. Gas chromatography and separation of liquid hydrocarbons are then performed on the hydrocarbon content in a gas-air mixture extracted from the samples, from which the determinations of quantitative anomalous indices of methane homologs can identify promising oil and gas-bearing structures. characterized by the fact that the concordance coefficient is additionally determined, Fluid is also recorded in the crystal structure of clay minerals and inclusions in autogenous minerals, and in the identification of meiobenthic biocenoses that capture (react to?) fluid flow over a short time interval. Based on a set of all obtained parameters using a directional-rank method, the location of hydrocarbon deposits within the offshore shelf can be determined.

The utility model applies to the field of hydrocarbon exploration and prospecting on the shelves of inland seas. The technical and economic benefit lies in increasing reliability by expanding the number of indicators, reducing the area of oil and gas exploration, and determining the exact locations for well placement for their subsequent exploitation, which makes it possible to reduce the cost of exploratory drilling.

The method, tested in the northwestern shelf of the Black Sea, provides the scientific basis for an innovative approach to predicting and exploring hydrocarbon deposits on the shelves of inland seas (such as the Baltic Sea, among others).

- Chepizhko, O. V., Yanko, V. V., Kadurin, V. M., Naumko, I. M., & Shatalin, S. M. (2020). The significance of mineralogical and lithological-petrographic rank in ranking geological information. *Mineralogical Journal*, 42(4), 33–49. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.42.04.033> [in Ukrainian]
- Naumko, I. M. (2020). Mineral-fluidology and synthesis and genesis of natural hydrocarbons in the Earth's bowels. *Geophysical Journal*, 42(4), 72–96. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v42i4.2020.210673> [in Ukrainian]
- Yanko, V. V., Kadurin, V. M., Kakaranza, S. D., Kravchuk, G. O., Dikol, O. S., & Naumko, I. M. (2022). *Method of directed rank interpretation of geological and geophysical information based on the theory of fluidogenesis*. Patent for utility model UA 150716 U. МПК G1N 1/28 (2006.01). Application number: u202104358. Data of application: 26.07.2021. The date on which the intellectual property rights took effect: 31.03.2022. Publication of Information on State Registration: 30.03.2022, Bull. No. 13/2022. <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1684494/>

**Геологія і геохімія**  
**критичної та стратегічної мінеральної сировини**

---

УДК 548.4:549:552.3:553.3 (477)

**СПОСІБ ЛОКАЛЬНОГО ПРОГНОЗУВАННЯ  
ЗБАГАЧЕНИХ ГОРИЗОНТІВ МЕТАЛОНОСНИХ РОДОВИЩ  
(НА ПРИКЛАДІ ПЕРСПЕКТИВНО МІДЕНОСНИХ ТРАПІВ  
ЗАХІДНОЇ ВОЛИНИ)**

**Наталія БАЦЕВИЧ<sup>a</sup>, Ігор НАУМКО<sup>b</sup>, Юрій ФЕДОРІШИН<sup>c</sup>**

Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, Львів, Україна

<sup>a</sup> e-mail: natalja\_bats@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0002-0644-5364>

<sup>b</sup> e-mail: naumko@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0003-3735-047X>

<sup>c</sup> e-mail: fedoryshyn388@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0003-4005-0427>

**A METHOD FOR LOCAL PREDICTION OF ENRICHED HORIZONS  
IN METALLIFEROUS DEPOSITS  
(CASE STUDY OF PROSPECTIVE COPPER-BEARING  
CONTINENTAL FLOOD BASALTS IN WESTERN VOLYN)**

**Nataliia BATSEVYCH<sup>a</sup>, Ihor NAUMKO<sup>b</sup>, Yuriy FEDORYSHYN<sup>c</sup>**

Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals  
of the NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine

Вимоги сьогодення потребують нових методичних підходів до прогнозування, пошуків та оцінки родовищ критичної сировини, до якої останніми роками віднесено мідь. Цей факт привертає пильну увагу до перспективно міденосних трапів Західної Волині.

Власне матеріали з узагальнення і аналізу численних літературних і авторських даних про передумови локалізації та особливості розподілу самородно-мідного зруденіння у базальтах на певних горизонтах конкретного виливу і в пірокластичних утвореннях трапової формації Західної Волині, насамперед у межах перспективних Північногірницького і Рафалівського полів (Волинська міднорудна провінція), надали змогу розробити «Спосіб локального прогнозування збагачених горизонтів металоносних родовищ» (Наумко та ін., 2024). Пропонований спосіб прогнозування збагачених горизонтів металоносних родовищ (на прикладі перспективно міденосних відкладів) вирішує завдання точної оцінки рудоносних горизонтів, як у вертикальному розрізі кожної одиниці виливу (від підосви до покрівлі) у зв'язку з флюїдно-ліквідаційним впливом (Наумко та ін., 2016) на товщу, так і за площею, враховуючи товщину кожної світи/товщі. Корисна модель належить до гірничої галузі і стосується геологорозвідувальних робіт, які можуть бути використані при пошуках і прогнозуванні збагачених горизонтів трапових формацій металами та супутніми елементами.

Вихідними даними стали результати дослідження луччівської світи (стратотипова свердловина № 8262) (Naumko et al., 2021), якими показано,

що у вертикальному розрізі самородномідна мінералізація приурочена до верхів виливу і знаходиться в афірових базальтах під кіркою загартування базальтового виливу (під лавокластичними брекчіями). В мигдалекам'яних базальтах в центральній частині виливу та в афірових базальтах в підошві виливу самородномідна мінералізація відсутня. Це також підтверджує зміна концентрацій міді в розрізі лучичівської світи максимальної товщини, максимальні концентрації якої приурочені до приповерхневої частини світи.

Пропонований спосіб здійснюють шляхом виконання низки послідовних дій.

На початковому етапі проводять буріння свердловин за площею поширення відкладів трапової формації, перспективних на самородну мідь і супутні метали, описують штуфи і керн, відбирають проби для аналітичних визначень. Будують карти рельєфу палеоповерхні і товщини (за допомогою комп'ютерної програми MapInfo), за якими виявляють максимальні товщини виливу кожної світи в межах прогнозованого металоносного родовища. Після цього на основі побудованих карт рельєфу палеоповерхні і товщини з'ясовують особливості зміни товщин базальтів з визначенням найбільшого нагромадження лавових утворень. На основі аналітичних досліджень виявляють, де на вибраній ділянці з максимальною товщиною вулканічного виливу наявні вищі концентрації самородної міді та супутніх металів (нікелю, цинку та ін.). Водночас виявляють просторове суміщення високих концентрацій самородної міді з максимальними товщинами вулканічних виливів, а за складеними картами (після дослідження керна матеріалу) отримують змогу просторово відслідковувати межі та конфігурацію (масштаби) потенційного промислово значимого самородномідного зруденіння в межах проявів трапового вулканізму. Виявлення максимальних товщин виливу кожної товщі за побудовою карт рельєфу палеоповерхні та товщини в межах прогнозованого металоносного родовища значною мірою підвищує прогноз перспективних площадок відкладень металів (міді, цинку, нікелю та ін.) в об'ємі досліджуваної товщі. Побудова карт дозволяє також відслідкувати по площі проявів трапового вулканізму ділянки з максимальною товщиною для кожної світи.

Наступне проведення робіт з комплексних макро- і мікродосліджень петрографічного, петрохімічного і геохімічного, мінералогічного і термобарогеохімічного плану дозволяє точніше виявити рудоносні горизонти за вертикаллю в межах світи і до верхів вулканічного виливу. Певну неоднорідність у розподілі самородномідного зруденіння зумовлює, з одного боку, нерівномірний розподіл газово-флюїдних потоків, шляхи проходження яких відображені в нерівномірному розподілі низькотемпературних мінеральних фаз, з іншого – значний розвиток тріщинуватості, насамперед контракційного типу, і відповідний прояв адіабатичного процесу. Ідентифікація діяльності цих флюїдів сприятиме ідентифікації міграційних процесів рудної фази та деталізації критеріїв прогнозування мідного зруденіння. Основна частина міді утворилася за флюїдно-ліквацийної взаємодії, бо ми спостерігаємо краплеподібні виділення міді (зокрема включення міді в плагіоклазі), що характерно для ліквацийних процесів, а типових ознак гідротермального рудоутворення не відзначено.

Отже, спосіб прогнозування збагачених горизонтів металоносних родовищ (на прикладі перспективно міденосних трапів Західної Волині) обґрунтовує можливості за побудованими картами рельєфу палеоповерхні та товщин виявлення максимальних товщин виливу кожної товщі в межах прогнозованого металоносного родовища і також додатково за вертикаллю в межах товщі рудоносної ділянки, яка приурочена до максимальної товщини і до верхів вулканічного виливу, потім проведення досліджень процесів флюїдно-ліквацийної взаємодії, які відповідають за екстракцію, перенесення і концентрацію металів та їхнє відкладення у самородному стані на певних горизонтах стратифікованої вулканогенної товщі.

Техніко-економічними перевагами нового способу є його висока ефективність за рахунок зменшення витрат при пошукових роботах, тому запропонована корисна модель дозволяє ефективно проводити прогнозування збагачених горизонтів міднорудних родовищ. Відповідно до запропонованої корисної моделі спосіб можна вважати й перспективним на виявлення покладів руд із відносно низькими вмістами міді та супутніх металів. Його значення також зростає, зважаючи на характерне для трапових формацій, як правило, перешарування металоносних базальтів із цеоліт-сметитовими туфами, цінними в сільському господарстві, будівельній індустрії, природоохоронних заходах тощо.

Наумко, І. М., Федоришин, Ю. І., & Бацевич, Н. В. (2016). Флюїдно-ліквацийна гіпотеза походження самородномідної мінералізації у вулканітах трапової формації Західної Волині. *Доповіді НАН України*, 9, 69–78. <https://doi.org/10.15407/dopovidi2016.09.069>

Наумко, І. М., Федоришин, Ю. І., Бацевич, Н. В., & Гвоздевич, О. В. (2024). *Спосіб прогнозування збагачених горизонтів металоносних родовищ*. Патент України UA 157865U. 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.

Naumko, I., Batsevyich, N., Fedoryshyn, Y., Pavlyuk, M., Myshchyshyn, Yu., & Repyn, I. (2021). Peculiarities of the distribution of thickness and paleo-surface relief of basalts of Luchychi strata (Western Volyn). *Geodynamics*, 1(30), 36–47. <https://doi.org/10.23939/jgd2021.01.036>

## ГЕРМАНІЙ РОДОВИЩ КАМ'ЯНОГО І БУРОГО ВУГІЛЛЯ ЗАХОДУ УКРАЇНИ

Ірина БУЧИНСЬКА<sup>a</sup>, Галина ЛАЗАР<sup>b</sup>

Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, Львів, Україна

<sup>a</sup> e-mail: buchynska@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0002-8154-4485>

<sup>b</sup> e-mail: halynaa.lazar@gmail.com

## GERMANIUM OF HARD AND BROWN COAL DEPOSITS OF WESTERN UKRAINE

Iryna BUCHYNSKA<sup>a</sup>, Halyna LAZAR<sup>b</sup>

Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals  
of the NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine

Потенціал вугільних родовищ на сьогодні визначається не лише встановленням вугленосності, але й низки критеріїв, що визначаються комплексним вилученням супутніх корисних компонентів вугілля. У вугіллі містяться певні обсяги рідкісних елементів. Дослідження їхнього розподілу у речовині бурого та кам'яного вугілля дозволило виявити ряд зменшувальної спорідненості до органічної речовини:  $\text{Ge} > \text{W} > \text{Ga} > \text{Be} > \text{Nb} > \text{Sc} > \text{Y} > \text{La} > \text{Zn} > \text{Pb}$  (Юдович та ін., 1985).

Мінерально-сировинна база України характеризується значними запасами супутнього германію та перспективами його освоєння під час комплексної розробки вугільних родовищ. Германій присутній як у пластах кам'яного вугілля Львівсько-Волинського басейну (ЛВБ), так і в родовищах бурого вугілля Закарпаття. Вугілля – найважливіше джерело германію в світі.

Германій у вугіллі ЛВБ поширений дуже нерівномірно, але присутній у пробах золи вугілля всіх вугільних пластів нижнього карбону. При дослідженні було систематизовано дані стосовно вугільних пластів Червоноградського геолого-промислового району як частини басейну з інтенсивним розвитком вуглевидобувного комплексу. Для встановлення вертикальної залежності зміни концентрацій германію за стратиграфічним розрізом аналізувалися результати спектральних аналізів концентрації германію для вугілля пластів  $\nu_6$ ,  $n_7$ ,  $n_8$ ,  $n_8^B$ ,  $n_9$  (середнє значення по пластах відповідно 2,82; 1,91; 1,4; 1,34; 1,59 г/т). Для Любелського родовища Південно-Західного вугленосного басейну проаналізовано вміст германію для пластів  $n_7$ ,  $n_7^B$ ,  $n_8$ ,  $n_8^B$ ,  $n_8^5$ ,  $n_9$ ,  $b_1$ ,  $b_3$  (середнє значення по пластах відповідно 2,3; 2,54; 1,6; 2,9; 3,5; 2,2; 3,9; 3,63 г/т) (Бучинська та ін., 2023а, б). Слід відзначити, що для деяких пластів чи їхніх ділянок характерні промислові концентрації германію, що визначено за існуючими кондиціями для вугілля Донецького басейну ( $> 2,5$  г/т вугілля).

Характер розподілу переважно узгоджується із зростанням метаморфізму, відповідно до глибини залягання. Ця залежність не є однозначною, адже вміст елементу визначається багатьма чинниками різного генезису. Хвилеподібний характер розподілу концентрацій германію загалом узгоджується з вектором вуглефікації, згідно з яким південно-західна частина ЛВБ більш метаморфізована. Встановлено, що зональні і циклічні геохімічні закономірності

латерального і вертикального розповсюдження елементів тісно пов'язані з умовами торфо- і осадо накопичення (Юдович та ін., 1985), з процесом седиментації, який підпорядкований конседиментаційним тектонічним рухам, що впливали на водний режим торф'яника, літологічну і фаціальну мінливість вугленосних відкладів в цілому. Розподіл елемента між органічною і зольною частинами вугілля пов'язаний з внутрішніми (сорбційними чи біогенними) та зовнішніми (хемогенними, інфільтраційними) чинниками нагромадження. Германій пов'язаний переважно з органічною частиною вугілля та вуглистих порід. Мало зольне вугілля, зазвичай, містить найбільше германію. Германій накопичується шляхом сорбції органічною речовиною з'єднань металів з поверхневих або підземних вод різного походження при седиментогенезі або діагенезі, рідше вторинному окисненні. При дослідженні контактів вугільного пласта з вмісними породами спостерігається збільшення концентрації, що можна пояснити особливими умовами водно-мінерального середовища торф'яних відкладів у період переходу від теригенної седиментації до торфонакопичення (контакт з підшоною) і від торфонакопичення до осадоутворення (контакт з покрівлею), коли в пласт поступає значна кількість зваженого і хімічно розчиненого мінерального матеріалу (Бучинська та ін., 2023а).

Германієносність бурого вугілля залежить від області зносу, віддаленості області зносу від торф'яника, часу надходження елемента з хімічних розчинів у торф'яник та часу перебування лігнітів на стадії торфу. За генезисом поклади лігніту є алювіальними відкладами річок і алювіально-озерними утвореннями приморських чи внутрішньоконтинентальних акумулятивних рівнин. Власне до таких типів родовищ відносяться Малобіганське і Новоселицьке родовища Закарпатського буровугільного району.

Накопичення германію у бурому вугіллі відбувається внаслідок привнесення його водними потоками в давні торф'яники з областей зносу. Частина германію додатково концентрується на стадії діагенезу. Вугілля річкового походження містить у 10 разів більше германію, ніж вугілля озерного генезису. У межах вугільних басейнів найбільші концентрації германію відзначаються в периферичних частинах, ближче до областей зносу. У межах вугільного пласта найбільше збагачені германієм ділянки знаходяться біля покрівлі і підшови (Бурлуцький, 2024).

Вміст германію в золі лігніту Новоселицького родовища до 280 г/т, Малобіганського – до 1000 г/т (Сивий та ін., 2013). В роботі (Бурлуцький, 2024) вказується, що Малобіганське родовище заслуговує на технологічне вивчення сировини. Через низьку теплоту згоряння 3000–5000 ккал/кг (12,56–20,93 МДж/кг) германієносний лігніт не є рентабельним як традиційне енергетичне паливо. Використання германієносного лігніту як звичайного палива є недоцільним. Проект використання цінної сировини передбачає спалювання вугілля (наприклад, на Ужгородській ТЕЦ) з подальшим уловлюванням германієвого пилу за допомогою спеціальних фільтрів. Після цього попіл збагачується металургійним шляхом для отримання чистого германію.

Основні методи вилучення германію з вугілля і вугільної золи включають різноманітні хімічні та термічні процеси: гравітаційне збагачення, флотація, гідрометалургія, пірометалургія, сублімація. Кожен із них має

свої переваги та недоліки, вибір методу залежить від концентрації германію у вугіллі, технологічних можливостей, економічної доцільності та екологічних вимог.

- Бурлуцький, М. С. (2024). Перспективи комплексного освоєння буровугільних родовищ Закарпаття як джерела отримання критичної мінеральної сировини. *Мінеральні ресурси України*, 1, 35–40. <https://doi.org/10.31996/mru.2024.1.35-40>
- Бучинська, І. В., Матрофайло, М. М., Побережський, А. В., Ступка, О. О., & Лазар, Г. І. (2023a). Поширення германію у вугіллі Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну. *Геологічний журнал*, 2, 35–49. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2023.4.284910>
- Бучинська, І., Матрофайло, М., & Побережський, А. (2023b). Комплексне освоєння супутніх корисних копалин і компонентів вугілля Любельського родовища Львівсько-Волинського басейну. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 2(101), 62–67. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.101.09>
- Сивий, М., Паранько, І., & Іванов, Е. (2013). *Географія мінеральних ресурсів України*: монографія. Простір М. <https://elibrary.kdpu.edu.ua/handle/123456789/5519>
- Юдович, Я. Э., Кетрис, М. П., & Мерц, А. В. (1985). *Элементы-примеси в ископаемых углях*. Наука.

УДК 553.98:556.314

**АНАЛІЗ ГІДРОГЕОХІМІЧНИХ КРИТЕРІЇВ  
ПРОГНОЗУВАННЯ НАФТОГАЗОНОСНОСТІ НАДР  
НА ПЕРСПЕКТИВНІЙ ПЛОЩІ  
БОРИСЛАВСЬКО-ПОКУТСЬКОГО НГР**

**Наталія ДУБЕЙ**

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,  
Івано-Франківськ, Україна  
e-mail: [dubei0509@gmail.com](mailto:dubei0509@gmail.com); <https://orcid.org/0000-0002-9042-6886>

**ANALYSIS OF HYDROCHEMICAL CRITERIA  
FOR PREDICTING OIL AND GAS POTENTIAL  
IN THE SUBSURFACE OF A PROSPECTIVE AREA  
WITHIN THE BORYSLAV-POKUTSKI OIL AND GAS REGION**

**Nataliia DUBEI**

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,  
Ivano-Frankivsk, Ukraine

Застосування гідрохімічних критеріїв на перспективних площах є високоактуальним інструментом, який інтегрує хімічні, геологічні та гідродинамічні дані. Це дозволяє оптимізувати пошуково-розвідувальний процес, суттєво підвищити коефіцієнт успішності буріння, знизити витрати та забезпечити точніший прогноз нафтогазоносності надр у складних геологічних умовах.

Мета роботи – дослідити гідрогеохімічні критерії прогнозування нафтогазоносності надр в межах перспективної площі Бориславсько-Покутського нафтогазоносного району.

Досліджувана площа в адміністративному відношенні розміщується в Богородчанському районі Івано-Франківської області, на віддалі 20 км від міста Богородчани. В геотектонічному відношенні, площа належить до третього ярусу складок центральної частини Бориславсько-Покутської зони Передкарпатського прогину. В нафтогазогеологічному відношенні приурочене до Бориславсько-Покутського НГР Карпатської нафтогазоносною області. Поруч знаходяться: Космацьке, Росільнянське, Монастирчанське, Гвіздецьке, Південно-Гвіздецьке, Пнівське, Довбушансько-Бистрицьке, Битківське, Пасічнянське родовища.

У геологічній будові площі беруть участь породи мезозою і кайнозою.

Результати глибокого буріння на Росільнянському родовищі дозволили детально вивчити будову антиклінальної складки та підтвердили наявність перспективних колекторів у менілітовій світі.

Геологічний прогноз або обґрунтування доцільності проведення пошукових робіт полягає в обґрунтованому підтвердженні наявності сприятливих геологічних умов для формування та збереження нафтово-газових скупчень у надрах досліджуваної території. Гідрогеологічні критерії дають змогу оцінити перспективи нафтогазоносності надр з урахуванням складу, умов формування та динаміки підземних вод (Маєвський та ін., 2004).

Виконано аналіз гідрогеохімічних показників і оцінку за ними перспектив нафтогазоносності на перспективній площі.

Проведено хімічні аналізи проб досліджуваної пластової води на площі.

Показник густини становить 1139 кг/м<sup>3</sup>, що безпосередньо свідчить про значний рівень мінералізації, значення рН складає 3,8 (окисне середовище), а Eh дорівнює 232. Загальна мінералізація досягає 189,6 г/дм<sup>3</sup>, через що цю воду відносять до категорії розсолів.

Детальні відомості щодо концентрації аніонів та катіонів наведені в таблиці.

Для досліджуваного водоносного горизонту характерні висока мінералізація, значний вміст хлоридних іонів при одночасному дефіциті сульфатів, а також підвищена концентрація бору, йоду та бром.

Оцінка іонно-сольового профілю виконувалася із застосуванням класифікаційної системи Пальмера та графічної моделі Роджерса. Отримані результати вказують на те, що пластова вода є твердою. Такий висновок підтверджують розраховані показники: A1 = 0, A2 > 0, S1 > 0, S2 > 0, S3 = 0. Подібний гідрохімічний тип є типовим для нафтоносних комплексів у межах

#### Результати хімічних аналізів досліджуваної води

| Фізичні властивості                                                                | pH  | Eh  | M, г/дм | Катіони, мг/дм <sup>3</sup> |                  |                  | Аніони, мг/дм <sup>3</sup> |                               |                               |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|---------|-----------------------------|------------------|------------------|----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Без смаку, без запаху, злегка каламутна<br><br>густина – 1339<br>кг/м <sup>3</sup> | 3,8 | 232 | 189,6   | Na <sup>+</sup>             | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | Cl <sup>-</sup>            | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> |
|                                                                                    |     |     |         | 553,4                       | 140              | 13,3             | 1011,8                     | 60,8                          | 36,6                          |

платформ та складчастих гірських областей, де циркуляція підземних вод вкрай утруднена.

Крім того, під час дослідження було обчислено генетичні коефіцієнти для ідентифікації типу води за схемою В. А. Суліна. Встановлено, що вода належить до хлор-кальцієвого типу, оскільки  $\frac{rNa'}{rCl'} < 1$ ,  $\frac{rNa' - rCl'}{rSO_4''} < 0$ ,  $\frac{rCl' - rNa'}{rMg''} > 1$ . Наявність вод хлоридно-кальцієвого типу є свідченням глибинної обстановки з дуже утрудненим водообміном, що сприяє утворенню та збереженню вуглеводневих покладів (Дубей, 2024).

За результатами досліджень, можна зробити висновок, що досліджувана площа є перспективною щодо нафтогазоносності за гідрогеохімічними показниками.

Аналіз гідрогеологічних показників забезпечує важливу інформацію для прогнозування нафтогазоносності, визначення найбільш перспективних територій для розвідки нафтових і газових покладів, а також для оцінки умов їхнього формування та збереження.

Дубей, Н. (2024). *Гідрогеологія та інженерна геологія*: підручник. Івано-Франківськ. Маєвський, Б., Лозинський, О., Гладун, В., & Чепіль, П. (2004). *Прогнозування, пошуки та розвідка нафтових і газових родовищ*. Підручник. Київ: Наукова думка.

УДК 553.494:550.8.013

**ФРАКТАЛЬНО-МУЛЬТИФРАКТАЛЬНИЙ АНАЛІЗ  
ПРОСТОРОВОГО РОЗПОДІЛУ СЕРЕДНЬОГО ВМІСТУ  
ІЛЬМЕНІТУ ТА АПАТИТУ В КОРІ ВИВІТРЮВАННЯ  
ТА АПТ-НИЖНЬОАЛЬБСЬКИХ КОНТИНЕНТАЛЬНИХ ВІДКЛАДАХ  
АНДРІЇВСЬКОГО ТИТАНОВОГО РОДОВИЩА**

**Мирон КОВАЛЬЧУК<sup>a</sup>, Юлія КРОШКО<sup>b</sup>**

Інститут геологічних наук Національної академії наук України, Київ, Україна

<sup>a</sup> e-mail: kms1964@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0001-9265-9707>

<sup>b</sup> e-mail: ykrosh.79@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0002-7601-7760>

**FRACTAL AND MULTIFRACTAL ANALYSIS  
OF THE SPATIAL DISTRIBUTION OF AVERAGE ILMENITE  
AND APATITE CONTENT IN THE WEATHERING CRUST  
AND APTIAN-LOWER ALBIAN CONTINENTAL DEPOSITS  
OF THE ANDRIIVKA TITANIUM DEPOSIT**

**Myron KOVALCHUK<sup>a</sup>, Yulia KROSHKO<sup>b</sup>**

Institute of Geological Sciences, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Андріївська ділянка розташована у межах долини річки Велика Вись та її схилів на території Новомиргородського району Кіровоградської області (між населеними пунктами Іванівка, Троянів, Андріївка, Лікарів). У геологічній будові ділянки беруть участь (знизу вгору): граніти рапаківі та їхня

кора вивітрювання, ільменітовмісні континентальні відклади нижньої крейди і четвертинні алювіальні відклади долини річки Велика Вись (Крошко & Ковальчук, 2023). Континентальні відклади нижньої крейди (апт – нижній альб) представлені смілянськими верствами та поширені на перетині долини річки Велика Вись і Лебедин-Балакліївської палеодепресії, до якої вони приурочені. Відклади представлені світло-сірими пісками кварцовими і каолінами перевідкладеними. У попередніх публікаціях нами досліджено рудоносність кори вивітрювання та смілянських верств. На основі отриманих даних створено картографічні побудови, що включають: ізопахіти товщини кори вивітрювання, нижньокрейдових перевідкладених каолінів та пісків; ізогіпси середнього вмісту ільменіту, рутилу й циркону в корі вивітрювання, перевідкладених каолінах та пісках (Крошко & Ковальчук, 2023). Здійснено кореляційний аналіз між середнім вмістом ільменіту, рутилу й циркону в досліджених формаційних одиницях (Крошко & Ковальчук, 2023).

У даній публікації комплексне дослідження закономірностей просторового поширення та взаємозв'язків ільменіту й апатиту в елювіальних відкладах та континентальних алювіальних утвореннях апту – нижнього альбу реалізовано у два послідовні етапи: за допомогою парного кореляційного аналізу та методів фрактально-мультифрактальної геометрії.

В корі вивітрювання встановлено чітку тенденцію до накопичення апатиту на тлі зниження вмісту ільменіту. Із зменшенням концентрації ільменіту від 26,3 до 15,95 кг/м<sup>3</sup> спостерігається зростання вмісту апатиту від 2,19 до 2,43 кг/м<sup>3</sup>. Коефіцієнт лінійної кореляції Пірсона ( $r = -0,82$ ) свідчить про сильний обернений зв'язок між цими мінералами. Генетична інтерпретація залежності вказує на просторову та динамічну диференціацію речовини в процесі вивітрювання материнського субстрату: апатит селективно концентрується у зонах інтенсивного гіпергенного вилуження та метасоматичних перетворень, тоді як ільменіт у цих умовах є нестабільним, зазнає деструкції, лейкоксенізації або винесення за межі профілю. Для кількісної оцінки геометричної неоднорідності просторових полів мінеральних концентрацій було розраховано їхні фрактальні розмірності ( $D$ ). Виявлено суттєві відмінності у топологічній структурі розподілу ільменіту та апатиту. Просторова локалізація ільменіту характеризується високою структурною мінливістю: у зонах збагачення (середній вміст до 61,5 кг/м<sup>3</sup>) значення  $D = 1,6-1,7$ , що відображає формування неперервних кластерних структур; у збіднених зонах (15–20 кг/м<sup>3</sup>) розмірність зменшується до  $D = 0,9-1,1$ , що відповідає лінійному або дискретному типу розподілу. Для апатиту показник  $D$  стабільно утримується у вузькому інтервалі (0,8–1,0), що є ознакою крайньої дискретності мінералізації та підтверджує локальний характер його збагачення.

У перевідкладених каолінах і пісках смілянської світи ільменіт та апатит є теригенними мінералами, розподіл яких контролюється гідродинамічним режимом давніх потоків, гравітаційною сепарацією та диференціацією матеріалу за гідралічною крупністю. Коефіцієнт лінійної кореляції Пірсона ( $r = -0,15$ ) свідчить про слабкий, статистично незначущий обернений зв'язок.

Просторова організація ільменіту в алювіальних пісках характеризується високим ступенем фрактальності ( $D = 1,65-1,80$ ) та максимальною шириною мультифрактального спектра ( $\Delta\alpha = 0,30-0,35$ ), що відображає екстремальну

неоднорідність і складність його локалізації. Це є наслідком активного гідродинамічного концентрування у високоенергетичних умовах. Апатит у тих самих відкладах демонструє низькі значення  $D$  (1,30–1,35), що вказує на слабку фрактальність і просторову розрідженість. Його розподіл має вигляд ізольованих мікрокластерів із вузьким спектром ( $\Delta\alpha = 0,18$ ), що наближає систему до монофрактальної поведінки. Такий характер пояснюється меншою густиною апатиту та його акумуляцією у спокійних, низькоенергетичних умовах алювіальних фацій.

У перевідкладених каолінах високі значення фрактальної розмірності (1,70–1,80) для ільменіту свідчать про його майже повне заповнення площини нашарування та розгалужену структуру рудоносної матриці. Значення  $\Delta\alpha = 0,30–0,35$  підтверджують максимальну неоднорідність розподілу, що є наслідком активного гідродинамічного концентрування. Просторова організація апатиту у цих відкладах знову характеризується низькими значеннями  $D$  (1,30–1,35), розрідженістю та ізольованими мікрокластерами, що підтверджує його акумуляцію у локальних пастках. Коефіцієнт лінійної кореляції Пірсона ( $r = -0,16$ ) свідчить про слабкий, статистично незначущий обернений зв'язок.

**Висновки.** Проведене дослідження показало, що просторові закономірності розподілу ільменіту та апатиту в елювіальних і алювіальних відкладах мають принципово різний характер. Ільменіт демонструє високий рівень фрактальності та мультифрактальності, що відображає його акумуляцію у динамічних, високоенергетичних седиментаційних системах під контролем гідродинамічних процесів. Натомість апатит характеризується низькими значеннями фрактальної розмірності та дискретним, локалізованим типом поширення, що свідчить про його селективне збагачення у зонах гіпергенного вилуження та геоморфологічних пастках.

Кореляційний аналіз підтвердив сильний обернений зв'язок між середнім вмістом ільменіту та апатиту в елювії, що відображає їхню генетичну диференціацію в процесі вивітрювання материнського субстрату та слабкий, статистично незначущий обернений зв'язок в апт-нижньоальбських відкладах. Мультифрактальні спектри сингулярностей засвідчили різний ступінь структурної гетерогенності: для ільменіту – відносну стабільність у зонах збагачення та різке зростання хаотичності у зонах вилуження; для апатиту – постійну хаотичність і залежність від локальних геохімічних параметрів.

Таким чином, ільменіт є індикатором кінетично контрольованих процесів гідродинамічного концентрування, тоді як апатит відображає літолого-фаціальний контроль і локальну селективність. Отримані результати мають значення для розуміння механізмів формування корисних копалин у гіпергенних та алювіальних системах і можуть бути використані для прогнозування зон концентрації мінералів у подібних геологічних умовах.

Крошко, Ю. В., & Ковальчук, М. С. (2023). Поліхронно-полігенна парагенетично-просторова титанорудна система осадового чохла південно-західної частини Корсунь-Новомиргородського плутону. *Геохімія та рудоутворення*, 44, 63–88. <https://doi.org/10.15407/gof.2023.44.063>

**РІДКІСНОЗЕМЕЛЬНІ ЕЛЕМЕНТИ З ХВОСТІВ ЗБАГАЧЕННЯ:  
ІННОВАЦІЙНИЙ ПОТЕНЦІАЛ  
ДЛЯ ЕКОНОМІКИ ТЕРИТОРІАЛЬНИХ ГРОМАД**

**Мирон КОВАЛЬЧУК<sup>1</sup>, Оксана КУШНІРЕНКО<sup>2,a</sup>, Віталій ВЕНГЕР<sup>2,b</sup>**

<sup>1</sup> Інститут геологічних наук Національної академії наук України, Київ, Україна  
e-mail: kms1964@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0001-9265-9707>

<sup>2</sup> Державна установа «Інститут економіки та прогнозування  
Національної академії наук України», Київ, Україна

<sup>a</sup> e-mail: kushnksena@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-3853-584X>

<sup>b</sup> e-mail: vengerv@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0003-1018-0909>

**RARE EARTH ELEMENTS FROM TAILINGS:  
INNOVATIVE POTENTIAL  
FOR THE ECONOMY OF TERRITORIAL COMMUNITIES**

**Myron KOVALCHUK<sup>1</sup>, Oksana KUSHNIRENKO<sup>2,a</sup>, Vitalii VENGHER<sup>2,b</sup>**

<sup>1</sup> Institute of Geological Sciences,

National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup> State Organization “Institute of Economics and Forecasting,  
National Academy of Sciences of Ukraine”, Kyiv, Ukraine

Сучасний глобальний перехід до «зеленої» енергетики, цифровізації та високотехнологічного виробництва критично залежить від рідкісноземельних елементів. Ця група металів (лантаноїди, лантан, ітрій та скандій) є незамінною у виробництві постійних магнітів для вітрогенераторів, акумуляторів електромобілів, мікросхем та оборонної продукції. Традиційний видобуток рідкісноземельних елементів (РЗЕ) пов'язаний зі значними капіталовкладеннями, тривалим періодом запуску проєктів (від 10 до 15 років) та жорсткими екологічними обмеженнями. У цих умовах хвости збагачення – відходи переробки мінеральної сировини, що накопичувалися десятиліттями у хвостосховищах на територіях гірничодобувних громад, – перетворюються з екологічного тягаря на цінний економічний актив. На тлі прийняття в ЄС Регламенту про критичну сировину (European Commission, 2023), переробка відходів відкриває унікальне вікно можливостей для територіальних громад України, де зосереджені значні обсяги промислових відвалів чорної, кольорової металургії та уранової промисловості. Залучення відходів збагачення до повторного обігу має низку беззаперечних переваг для інвесторів та місцевої влади: сировина залягає на поверхні, подрібнена та локалізована в межах конкретного об'єкта; розробка техногенного родовища потребує значно менше погоджувальних процедур порівняно з відкриттям нового кар'єру чи шахти; переробка відходів зменшує площу хвостосховищ, мінімізує забруднення довкілля, що покращує якість життя в громаді.

Низька концентрація РЗЕ у відходах раніше робила їх вилучення нерентабельним. Проте розвиток сучасних технологій кардинально змінив ситуацію. Сьогодні застосовуються такі інноваційні підходи: **біовилуговування** – використання штамів бактерій (*Acidithiobacillus ferrooxidans*) або мікроскопічних грибів (*Aspergillus niger*), які здатні переводити рідкісноземельні метали

з твердої фази відходів у розчин за низьких температур і без використання агресивних кислот; *удосконалена хімічна екстракція та селективне вилуговування* – послідовне багатокрокове вилуговування з регулюванням рН, інноваційні замкнені схеми, де кислотність розчину змінюється поетапно, що дозволяє спочатку розчинити та відсіяти непотрібні домішки (залізо, кальцій), а потім сконцентрувати РЗЕ в цільовому розчині, подвоюючи їхній вихід порівняно з класичним одностадійним вилуговуванням (Ng et al., 2026); *екологічне вилуговування органічними кислотами* передбачає попереднє обпалювання сировини за помірних температур із додаванням активаторів (наприклад, MgO), після чого РЗЕ легко вимиваються слабкими органічними кислотами (Ng et al., 2026); *новітні методи селективного розділення РЗЕ* – рідинна екстракція з іонними рідинами передбачає заміну класичних токсичних і летких органічних розчинників на «зелені» іонні рідини, що мають виняткову селективність до окремих лантаноїдів і дозволяють відокремлювати важкі РЗЕ від легких, а передові хроматографічні системи та мембранна сорбція забезпечують вилучення РЗЕ навіть із надвисокорозбавлених стічних вод хвостосховищ із досягненням чистоти металів понад 99 % (Kukula, 2025); *фізико-технічна інтенсифікація* включає кілька перспективних методів: *електророзрядна дезінтеграція відходів* передбачає попереднє руйнування мінеральних агрегатів у хвостах за допомогою хвиль стиснення, які генеруються потужними електричними розрядами у воді. Це механічно «розкриває» субмікроскопічні зерна монациту, циркону чи апатиту (носіїв РЗЕ), роблячи їх доступними для реагентів; *плазмова сепарація* являє собою метод високотемпературного переведення складних полікомпонентних концентратів із хвостів у плазмовий стан для подальшого розділення елементів за масою та потенціалом іонізації; *комплексна переробка* передбачає вилучення РЗЕ супутньо з іншими цінними компонентами (титаном, цирконієм, залізом), а залишок породи перетворюється на безпечні будівельні матеріали (геополімери, щебінь, цемент), що забезпечує безвідходне виробництво.

Територіальна громада не повинна бути пасивним спостерігачем. Європейський Союз активно фінансує проекти вилучення РЗЕ із вторинних джерел у межах концепції циркулярної економіки. Наявність хвостів збагачення (як матеріального ресурсу) та впровадження інноваційних технологій (як інструменту) формують синергетичний інноваційний потенціал територіальної громади. Цей зв'язок працює як класична економічна модель: «ресурс + технологія = капітал». Таке поєднання стає фундаментом для трансформації та розвитку економіки територіальних громад: перетворення екологічного тягаря на економічний актив; запуск циркулярної економіки на рівні громад; створення локального інноваційно-промислового кластера; підвищення інвестиційної привабливості та «зелені» гранти; фінансова самодостатність через податкові надходження. Попри високий потенціал, існують стримувальні фактори, які громадам необхідно враховувати: неоднорідність сировини, що вимагає гнучких технологічних рішень під кожне хвостосховище; радіоактивність, що потребує суворого радіаційного контролю та специфічних технологій безпеки; законодавчі колізії.

Дослідження довело, що хвости збагачення корисних копалин в Україні слід розглядати як високоліквідні техногенні родовища рідкісноземельних

елементів, що потребують впровадження інноваційних технологій вилучення для забезпечення економічної самодостатності громад.

*Дослідження виконано в рамках проекту «Технології вилучення рідкісно-земельних елементів з техногенних відвалів та відходів виробництва для сталого розвитку територіальних громад» (реєстраційний номер 2025.07/0033).*

European Commission. (2023, March 16). *Critical Raw Materials: Ensuring secure and sustainable supply chains for EU's green and digital future* [Press release]. [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/api/files/document/print/en/ip\\_23\\_1661/IP\\_23\\_1661\\_EN.pdf](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/api/files/document/print/en/ip_23_1661/IP_23_1661_EN.pdf)

Kukula, Iu. (2025). Comparative Analysis of Traditional and Innovative Methods for Rare Earth Element Extraction. *International Journal of Research and Innovation in Applied Science (IJRIAS)*, 10, 996–1003. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2025.135752>

Ng, L. Y., Choo, E. H., Chiang, A. K. M., & Ng, C. Y. (2026). Recovery of rare earth elements: A comprehensive review from the perspective of secondary sources and potentially greener leachants. *Separation and Purification Technology*, 382(1), Article 135752. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2025.135752>

*Top 10 Rare Earth Processing Technologies in 2026*. <https://rare-earth-mining.com/top-10-rare-earth-processing-technologies/>

УДК 553.494:550.8.013

**ФРАКТАЛЬНО-МУЛЬТИФРАКТАЛЬНИЙ АНАЛІЗ  
ПРОСТОРОВОГО РОЗПОДІЛУ СЕРЕДНЬОГО ВМІСТУ ІЛЬМЕНІТУ  
В КОРІ ВИВІТРЮВАННЯ ТА  
СЕРЕДНЬОЮРСЬКО-НИЖНЬОКРЕЙДОВИХ КОНТИНЕНТАЛЬНИХ  
ВІДКЛАДАХ ТРОСТЯНИЦЬКОГО РОДОВИЩА**

**Мирон КОВАЛЬЧУК<sup>a</sup>, Любов ФІГУРА<sup>b</sup>**

Інститут геологічних наук Національної академії наук України, Київ, Україна

<sup>a</sup> e-mail: kms1964@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0001-9265-9707>

<sup>b</sup> e-mail: liuba\_figura@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0001-8009-2854>

**FRACTAL AND MULTIFRACTAL ANALYSIS  
OF THE SPATIAL DISTRIBUTION OF AVERAGE  
ILMENITE CONTENT IN THE WEATHERING CRUST AND  
MIDDLE JURASSIC-LOWER CRETACEOUS CONTINENTAL  
DEPOSITS OF THE TROSTIANYTSIA DEPOSIT**

**Myron KOVALCHUK<sup>a</sup>, Liubov FIGURA<sup>b</sup>**

Institute of Geological Sciences,

National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Тростяницьке ільменітове родовище просторово та генетично приурочене до північної частини Володарсько-Волинського масиву ультрабазит-базитових комплексів Коростенського плутону. Корисна копалина локалізована у двох основних морфогенетичних типах покладів: мезозойській корі вивітрювання кристалічного фундаменту, а також у продуктах її ерозії та акумуляції – стратиграфічно нерозчленованій товщі середньоюрсько-нижньокрейдових

континентальних флювіальних відкладів. Останні літологічно представлені каоліністими пісками та перевідкладеними різновидами каолінів. Раніше було розроблено серію картографічних матеріалів, що відображають структурні параметри вміщувальних товщ та латеральний розподіл середнього вмісту ільменіту за даними пошукових і детальних геологорозвідувальних робіт (Фігура & Ковальчук, 2024). Додатково змодельовано вертикальний розподіл вмісту ільменіту у свердловинних перетинах. У наступних працях (Ковальчук & Фігура, 2024) висвітлено результати дослідження морфологічних, гранулометричних та хімічних властивостей ільменіту з елювіальних і середньоюрсько-нижньокрейдових відкладів. Простежено латеральну зональність ільменіту з різним вмістом  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}$ , а також ізоморфних домішок фосфору, ванадію та хрому в корі вивітрювання, піщаних і глинистих літофаціях середньоюрсько-нижньокрейдової товщі. Окрему увагу приділено варіаціям коефіцієнта  $\text{FeO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$  в ільменіті з різних генетичних типів відкладів. Визначено спрямованість і силу кореляційних зв'язків між петрогенними оксидами у складі мінералу.

Вміст ільменіту в різних геологічних середовищах можна кількісно описати методами фрактального та мультифрактального аналізу, які дозволяють оцінити просторову неоднорідність, виявити закономірності розподілу та встановити кореляції між морфологією середовища та концентрацією мінералу. Нами застосовано методи кореляційної розмірності ( $D$ ), мультифрактального спектра  $f(\alpha)$  та індексу асиметрії ( $A$ ). Комплексний аналіз просторової геометрії та варіацій вмісту корисного компонента в межах кори вивітрювання дозволив встановити низку фундаментальних закономірностей її структурно-морфологічної організації. Товщина рудоносних прошарків змінюється в широкому діапазоні – від 0,5 до 20 м, при цьому основна частина рудного тіла представлена морфологічно домінантними прошарками незначної товщини (0,5–3,0 м). Розрахунок фрактальної розмірності товщини ( $D$ ) виявив виражену масштабовану неоднорідність розрізу: для незначної товщини інтервалів значення становить  $D = 1,25\text{--}1,35$ , що вказує на відносну просторову дискретність та значну локалізацію рудоних зон; для значної товщини інтервалів фрактальна розмірність зростає до  $D = 1,7\text{--}1,8$ , що вказує на вищий ступінь просторової неперервності, масштабної інваріантності та геометричної заповненості простору рудовмісними інтервалами. Розподіл середнього вмісту ільменіту в елювії має складну гетерогенну структуру. Фон мінералізації фіксується у межах помірних та стабільних значень ( $20\text{--}40 \text{ кг/м}^3$ ). На цьому тлі виявлено серію дискретних локальних екстремумів, де середній вміст ільменіту сягає  $90,6\text{--}227,8 \text{ кг/м}^3$ . Розрахований параметр ширини сингулярності мультифрактального спектра ( $\Delta\alpha = 0,25\text{--}0,30$ ) кількісно підтверджує високу структурну гетерогенність та виражену мозаїчну організацію ільменітової мінералізації. Система описується множиною локальних масштабів інваріантності, що виключає можливість її адекватного моделювання за допомогою стандартних монофрактальних підходів. Індекс асиметрії спектра ( $A = 1,3\text{--}1,5$ ) вказує на стійку лівосторонню асиметрію. Отримані результати підтверджують, що топологія рудоносності формується під домінантним впливом свердловин із високими значеннями середніх вмістів ільменіту. Статистичний внесок рудних піків суттєво переважає над внеском

рівномірного квазіоднорідного фону, що вказує на кластерну просторову локалізацію ільменіту в корі вивітрювання.

Математико-статистичний та мультифрактальний аналіз просторового розподілу ільменітової мінералізації в межах алювіального комплексу дозволив формалізувати закономірності формування рудних тіл та оцінити роль літо-динамічних чинників у їхній локалізації. Товщина рудоносних прошарків алювію становить 0,5–20 м. Незначної товщини тіла (0,5–3,0 м) є просторовими індикаторами ділянок екстремального збагачення ільменітом. Розраховані значення фрактальної розмірності товщини алювію ( $D$ ) фіксують чітку масштабну дискретність седиментогенезу: для незначної товщини шарів ( $D = 1,25–1,4$ ) низька розмірність свідчить про високу дискретність, уривчастий характер нагромадження ільменіту та руслову або косову локалізацію рудних концентрацій під дією турбулентних пульсацій потоку; для шарів значної товщини ( $D = 1,7–1,8$ ) високі значення вказують на просторову неперервність та високу геометричну заповненість простору літологічними тілами, що є характерним для стабільних фацій макроруслового типу за умов тривалої й безперервної акумуляції уламкового матеріалу. Розподіл ільменіту в алювіальному розрізі віддзеркалює значну динаміку середовища седиментації. Стійкий мінеральний фон фіксується у вузькому інтервалі середнього вмісту (20–40 кг/м<sup>3</sup>). Натомість рудоносна товща насичена дискретними локальними максимумами, де середній вміст ільменіту послідовно зростає від 89,4 до 190,0 кг/м<sup>3</sup> і до екстремальних (240,0 кг/м<sup>3</sup>) значень. Формування такої щільної серії аномалій є прямим наслідком ефективного гравітаційно-гідродинамічного сортування уламкового матеріалу в русловому потоці. Широкий діапазон параметра сингулярності мультифрактального спектра ( $\Delta\alpha = 0,20–0,35$ ) свідчить про високу структурну гетерогенність та виражену мозаїчність рудоносності. Такий інтервал відображає просторову мінливість гідродинамічних режимів – від відносної гідростатичної релаксації до ділянок високої кінетичної енергії потоку. Індекс асиметрії спектра ( $A = 1,4–1,6$ ) демонструє значну лівосторонню асиметрію. Отриманий кількісний критерій математично доводить домінантну роль високоінтенсивних флуктуацій (локальних рудних піків) у загальній топологічній структурі алювіального покладу. Зазначений характер асиметрії підтверджує, що архітектура ільменітоносності контролюється процесами селективного гідродинамічного сортування, де внесок концентрованих шліхових скупчень статистично переважає над рівномірним розподілом фонових середніх вмістів.

Ковальчук, М. С., & Фігура, Л. А. (2024). Ільменітоносність продуктивних відкладів та якісні параметри ільменіту Тростяницького родовища титанових руд. *Мінералогічний збірник*, 74, 31–44. <https://doi.org/10.30970/min.74.03>

Фігура, Л. А., & Ковальчук, М. С. (2024). Ільменітоносність різногенетичних продуктивних відкладів Тростяницького родовища. *Мінералогічний журнал*, 46(3), 79–92. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.46.03.079>

**РІДКІСНІ ЛУЖНІ ЕЛЕМЕНТИ  
У ПЛАСТОВИХ ВОДАХ НАФТОГАЗОВИХ РОДОВИЩ  
ПЕРЕДКАРПАТСЬКОГО ПРОГИНУ**

**Іванна КОЛОДІЙ**

Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, Львів, Україна  
e-mail: igggk@mail.lviv.ua; <https://orcid.org/0000-0002-6879-1051>

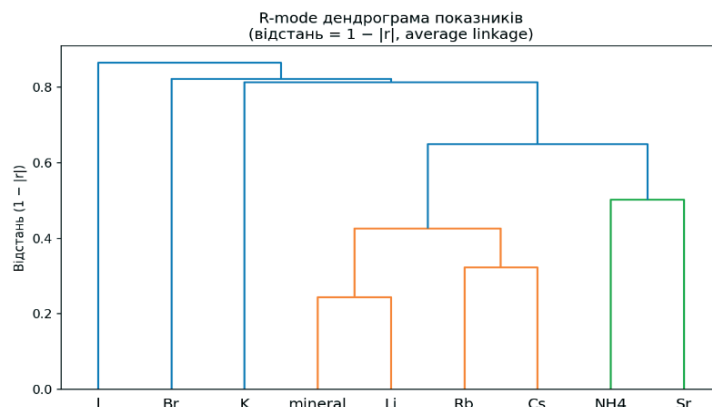
**RARE ALCALI ELEMENTS IN FORMATION WATERS  
OF OIL AND GAS FIELDS OF PRECARPATHIAN FOREDEEP**

**Ivanna KOLODIY**

Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals  
of NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine

Зростаючий попит на рідкісні лужні елементи (РЛЕ), насамперед літій, зумовлює інтерес до пластових вод як потенційного джерела їх промислового вилучення. За сучасними даними, перспективними для промислової оцінки вважаються пластові води з концентраціями літію близько 50 мг/дм<sup>3</sup> і вище, тоді як у низці реалізованих світових проєктів концентрації становлять понад 100 мг/дм<sup>3</sup>. В підземних водах хлоридного натрієвого складу Передкарпатського прогину встановлені високі концентрації рідкісних лугів, зокрема Li<sup>+</sup> до 134 мг/дм<sup>3</sup>, Rb<sup>+</sup> до 48 мг/дм<sup>3</sup>, Cs<sup>+</sup> до 4,7 мг/дм<sup>3</sup>. Наявні значення перевищують промислові концентрації цих елементів у водних розчинах, що дозволяє розглядати їх як гідромінеральну сировину (ГМС). У світі основним джерелом літію з ГМС є розсоли солончаків Чилі, Аргентини, тоді як у США, Канаді, Китаї, Німеччині активно розвиваються технології вилучення літію з пластових вод нафтогазових родовищ. У зв'язку з цим особливого значення набуває з'ясування геохімічних чинників, що контролюють накопичення літію в пластових водах (Суярко та ін., 2025). Одним із ключових підходів до вирішення цього завдання є встановлення геохімічних закономірностей накопичення літію в пластових водах нафтогазових родовищ Передкарпатського прогину. Раніше багатовимірні статистичні методи застосовувались переважно для характеристики гідрогеохімічних особливостей пластових вод та виокремлення специфічних пошукових гідрогеохімічних критеріїв нафтогазонасності (Колодій, 2004), тоді як закономірності розподілу літію спеціально не аналізувалися.

Матеріалом дослідження слугували гідрогеохімічні дані з понад 40 площ Зовнішньої та Внутрішньої зон Передкарпатського прогину (мінералізація, вміст NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, J<sup>-</sup>, Br<sup>-</sup>, K<sup>+</sup>, Li<sup>+</sup>, Rb<sup>+</sup>, Cs<sup>+</sup>, Sr<sup>2+</sup>). Для групування досліджуваних площ за подібністю гідрогеохімічного складу пластових вод застосовано *Q-mode* ієрархічний кластерний аналіз методом Уорда з використанням евклідової відстані після стандартизації змінних (*unit variance scaling*) (Ward, 1963). Для виявлення взаємозв'язків між геохімічними показниками застосований *R-mode* ієрархічний кластерний аналіз із метрикою відстані 1-|r|, розрахованої на основі коефіцієнта кореляції Пірсона та методу середнього зв'язку (*average linkage*).



*R-mode* дендрограма геохімічних асоціацій компонентів природних вод (відстань  $1 - |r|$ , *average linkage*), що відображає ступінь спорідненості елементів за кореляційними зв'язками

*Q-mode* кластерний аналіз дозволив виявити окрему групу пластових вод, що характеризуються аномально високими концентраціями  $\text{Li}^+$ ,  $\text{Rb}^+$ ,  $\text{Cs}^+$ . До цієї групи належать пластові води площ (Бісків, Лопушна, Гвізд-Старуня, Соколовецька) із середнім вмістом  $\text{Li}^+$  43,3 мг/дм<sup>3</sup> (проти фонових 5,0 мг/дм<sup>3</sup> по решті вибірки, тобто у 8,6 раза вище фонових значень). Для цієї групи площ характерне також підвищення концентрацій  $\text{Rb}^+$  (у 5 разів) та  $\text{Cs}^+$  (у 4,5 раза). Геологічно ця група приурочена переважно до глибокозалегаючих (3900–5300 м) мезозойських і міоценових відкладів Зовнішньої зони та палеогенових відкладів Внутрішньої зони Передкарпатського прогину, що узгоджується з раніше встановленою закономірністю переважної концентрації літію у глибокозалегаючих палеоген-мезозойських відкладах (Колодій, 2004). *R-mode* дендрограма (рисунок) показала, що  $\text{Li}^+$  формує найбільш тісний зв'язок з загальною мінералізацією, а на наступному рівні кластеризації об'єднується з  $\text{Rb}^+$ ,  $\text{Cs}^+$  утворюючи стійку геохімічну асоціацію ( $r = 0,58\text{--}0,74$ ), відокремлену від  $\text{Br}^- - \text{K}^+ - \text{J}^-$  та  $\text{NH}_4^+ - \text{Sr}^{2+}$ . Це відображає лише фонову залежність  $\text{Li}^+$  від мінералізації, яка порушується на аномально високих концентраціях, що може свідчити про додатковий чинник накопичення  $\text{Li}^+$ , окрім звичайного концентрування розсолів. Цьому відповідає й раніше встановлена зміна асоціації  $\text{Li}^+$  залежно від глибини (Колодій, 2004). На великих глибинах  $\text{Li}^+$  пов'язаний з  $\text{NH}_4^+$  і  $\text{Rb}^+$ , тоді як на менших глибинах – з  $\text{Cs}^+$ , що вказує на глибинну залежність накопичення  $\text{Li}^+$ . Ці висновки підкріплюються результатами *Q-mode* кластерного аналізу, який виділив окрему групу літієзбагачених пластових вод.

Коефіцієнти водної міграції (1,5 % для  $\text{Li}^+$ , 0,4 % для  $\text{Rb}^+$ , 0,3 % для  $\text{Cs}^+$ ) означають, що з водовмісних порід у пластові води може перейти незначна частка цих елементів (Колодій, 2004). Значні концентрації літію на площах Лопушна (до 134 мг/дм<sup>3</sup>), Соколовецька – 45 мг/дм<sup>3</sup> та ін. суттєво перевищують значення, які можна пояснити вилуговуванням, що вказує на додаткове гіпогенне джерело літію. Специфіка накопичення  $\text{Li}^+$  пов'язана з особливостями його міграції в хлоридних розсолах, де він зберігає високу рухливість і не утворює малорозчинних сполук. Літій мігрує переважно як простий

гідратований катіон  $\text{Li}^+$  практично в усьому діапазоні рН пластових вод, не утворюючи гідроксокомплексів; із зростанням хлоридності розсолу до нього додаються електростатичні (зовнішньосферні) іонні пари  $\text{LiCl}^0$ , а в розсолах ( $> 320 \text{ г/дм}^3$ ) –  $\text{LiCl}_2^-$ , що зумовлено аномально високою енергією гідратації малого іона  $\text{Li}^+$ , який утримує гідратну оболонку навіть у концентрованих хлоридних розчинах. Саме тому хлоридно-натрієві розсоли є найсприятливішим середовищем для накопичення  $\text{Li}^+$ ,  $\text{Rb}^+$ ,  $\text{Cs}^+$ . Одним із факторів накопичення лужних елементів в розсолах є різка зміна геохімічних умов міграції на контакті з вуглеводневими скупченнями. Це дає перспективи використання нафто- та газоводяних контактів як критерію пошуку промислових скупчень РЛЕ.

- Колодій, В. В. (Ред.). (2004). *Карпатська нафтогазоносна провінція*. Львів; Київ: Український видавничий центр.
- Суярко, В. Г., Улицький, О. А., & Сердюкова, О. О. (2025). Літій – його властивості, застосування та можливості видобування в Україні. У *Новітні проблеми геології: матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції* (с. 12–14). ХНУ ім. В. Н. Каразіна.
- Ward, J. H. (1963). Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function. *Journal of the American Statistical Association*, 58(301), 236–244. <https://doi.org/10.1080/01621459.1963.10500845>

УДК 553.068.5

## **ПЕРСПЕКТИВИ ПОШУКУ РОЗСИПНОГО ЗОЛОТА В ПУХКИХ ВІДКЛАДАХ ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОГО ПРИЧОРНОМОР'Я**

**Ігор ЛОМАКІН<sup>а</sup>, Олександр ОМЕЛЬЧУК<sup>б</sup>,  
Ігор ШУРАЄВ<sup>с</sup>, Олександр ПАРИШЕВ<sup>д</sup>**

ДНУ «Центр проблем морської геології, геоecології та осадового рудоутворення  
НАН України», Київ, Україна

<sup>а</sup> e-mail: igorlomakin@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-2745-2579>

<sup>б</sup> e-mail: msstesha@ukr.net; <https://orcid.org/0009-0002-9673-3446>

<sup>с</sup> e-mail: igorshuraev91@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-6289-8632>

<sup>д</sup> e-mail: paryshev1974@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-1318-9650>

## **PROSPECTS FOR PLACER GOLD EXPLORATION IN THE LOOSE SEDIMENTS OF THE NORTHWESTERN BLACK SEA REGION**

**Igor LOMAKIN<sup>а</sup>, Oleksandr OMELCHUK<sup>б</sup>,  
Igor SHURAEV<sup>с</sup>, Oleksandr PARYSHEV<sup>д</sup>**

State Scientific Institution “Center for Problems of Marine Geology,  
Geoecology and Sedimentary Ore Formation  
of the National Academy of Sciences of Ukraine”, Kyiv, Ukraine

Актуальність золотопошуку в південних районах України визначається сьогодні стрімким ростом світових цін на дорогоцінні метали. В цих умовах навіть країни, що ніколи не визначались суттєвими успіхами у видобутку дорогоцінних металів, активізують або відновлюють пошук та розвідку реальних

рудопроявів та родовищ. Лідером в цьому стали Турція, що почала добувати золото тільки в 2001 році (видобуток 1,4 т), а у 2017 році довела його до 30 т. До 7–8 т в рік почала добувати Фінляндія. Активний видобуток золота ведеться в Болгарії, Іспанії, Польщі. Азербайджан, Вірменія, Грузія вже добувають по декілька тонн золота в рік.

На жаль, в Україні немає позитивних прикладів використання сприятливої ринкової кон'юнктури, хоча наша країна має суттєвий золоторудний потенціал та при цілеспрямованій роботі спроможна зайняти одне з провідних місць в Європі, як по запасах, так і по видобутку золота. На сьогодні встановлені всі необхідні умови для формування реальних родовищ розсипного золота – описані корінні родовища дорогоцінного металу в межах УКЩ та його обрамлення, виявлені численні рудопрояви розсипного золота в південних областях країни. В період 1990–2000 рр. на основі результатів цілеспрямованих досліджень кайнозойських відкладів Криму, Півдня України та донних відкладів Чорного і Азовського морів акад. Є. Ф. Шнюков виділив специфічну субширотну Азово-Чорноморську розсипну провінцію (Шнюков та ін., 2000). Була створена теоретична основа золотопошуку в регіоні. В цей час і до наших днів вивченням розсипного золота успішно займаються спеціалісти Одеського університету (Н. О. Федорончук), Інституту геологічних наук НАН України (М. С. Ковальчук), ДНУ «Центр проблем морської геології, геоecології та осадового рудоутворення НАН України» (Ломакін та ін., 2020). Важливо відмітити, що в сферу досліджень сьогодні включене також дрібне і тонке золото (ДТЗ), яке раніше практично не враховувалось при пошуках золота. Висока масова доля золота дрібних і тонких класів крупності та суттєво алеврит-глинистий склад золотовмісних покладів утруднюють реальну оцінку золоторудних об'єктів за умови використання стандартних методів відбору та обробки проб. Велика частка ДТЗ втрачається при промивці зразків навіть за умов ретельного контролю.

Актуальне завдання переоцінки потенціалу розсипного золота в пухких мезо-кайнозойських відкладах півдня України може бути успішно вирішене. Для цього необхідно посилити оснащення польових робіт в частині забезпечення ефективними пристроями для обробки зразків і збагачення матеріалу із золотом, яке важко вилучається. За таких умов на фоні використання результатів неотектонічного аналізу можна буде сподіватись на відкриття реальних рудопроявів і родовищ розсипного (в більшості тонкого і дрібнодисперсного) золота в південних районах України.

Ломакін, І. Е., Сарвиров, Є. О., & Кочелаб, В. В. (2020). Актуальні питання пошуку родовищ розсипного золота півдня України. *Геологія та корисні копалини Світового океану*, 4, 31–40.

Шнюков, Е. Ф., Маслаков, Н. А., & Кардаш, В. Т. (2000). Перспективы Южно-Украинской провинции мелкого и тонкодисперсного золота. В *Природные и техногенные россыпи, месторождения коры выветривания на рубеже тысячелетий* (с. 391–392). Москва: РКВ.

**ГЕОХІМІЧНИЙ АСПЕКТ КОМПЛЕКСНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ  
ШЕГІНИ-ВОЛИЦЬКОЇ ПЛОЩІ БІЛЬЧЕ-ВОЛИЦЬКОЇ ЗОНИ  
ПЕРЕДКАРПАТСЬКОГО ПРОГИНУ**

**Софія МАКСИМУК<sup>1,a</sup>, Степан ДУЧУК<sup>2</sup>, Анатолій ГАЛАМАЙ<sup>1,b</sup>**

<sup>1</sup> Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, Львів, Україна

<sup>a</sup> e-mail: danaarsen@ukr.net; <https://orcid.org/0009-0004-6301-9988>

<sup>b</sup> e-mail: galamaytolik@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0003-4864-6401>

<sup>2</sup> Західно-Українська геофізична розвідувальна експедиція, Львів, Україна

e-mail: duchuk@ukr.net; <https://orcid.org/0009-0004-6384-7054>

**THE GEOCHEMICAL ASPECT OF COMPREHENSIVE STUDIES  
OF THE SHEHYNI-VOLYTSIA AREA  
WITHIN THE BILCHE-VOLYTSIA ZONE  
OF THE CARPATHIAN FOREDEEP**

**Sofia MAKSYMUK<sup>1,a</sup>, Stepan DUCHUK<sup>2</sup>, Anatoliy GALAMAY<sup>1,b</sup>**

<sup>1</sup> Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals  
of the NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine

<sup>2</sup> Western-Ukrainian geophysical reconnaissance expedition, Lviv, Ukraine

З метою прогнозу перспективності флюїдонасичення розрізу на Шегіні-Волицькій площі прогину проведено геохімічні дослідження газової складової приповерхневих відкладів на глибині 1 м (газів, сорбованих породою та вільного простору порід), а також природного потоку газу з надр в атмосфері. Дослідження виконано методом газодобірної зйомки в комплексі з сейсмі- і електророзвідувальними роботами. Зондування проведено на 10 профілях загальною довжиною 102 км із віддаллю між ними 1–1,5 км та кроком відбору проб 250 м. Усього відібрано 1224 проби. Детальність досліджень відповідає масштабу 1 : 50 000.

Відбір проб порід здійснювали в шурфах глибиною 1 м у скляні банки ємністю 0,5 л із наступною герметизацією металевими кришками. Проби вільних газів відбирали з допомогою спеціального пробовідбірника у пляшки (0,5 л), заповнені розчином хлористого натрію. Величину природного потоку газу з надр землі в атмосферу вимірювали з допомогою контейнера із сорбентом, на якому селективно адсорбувалися вуглеводневі компоненти. Його закопували на глибину 0,7–1,0 м і витримували 2–3 доби. В газоаналітичній лабораторії ЗУГРЕ з проб ґрунту й адсорбційних трубок на термовакуумному дегазаторі було десорбовано газ.

Якісний і кількісний вміст вуглеводневих компонентів (від метану до пентану включно) визначено методом газової хроматографії. За результатами досліджень з використанням програм “Excel”, “Statistic” і “Surfer” побудовано карти розподілу геохімічних параметрів із виділенням зон прояву їхніх аномальних концентрацій та встановлення просторового співвідношення цих зон зі структурами, виявленими сейсмозондувальними роботами.

На даній площі простежується просторова кореляція між картами вмісту вуглеводневих сполук у газах, сорбованих породою, і у природному потоці

газу з надр землі в атмосферу. Сорбовані породою гази представлені картою розподілу метану і картою розподілу суми гомологів метану. Геохімічне поле сорбованих газів є слабо диференційоване, що, ймовірно, пов'язано з їхньою піщаною складовою, сорбційні властивості якої є досить низькими. Карта розподілу метану, аномальні поля яких обмежені ізолінією 35, є невеликі за площею, в основному, фрагментарного характеру. Аномальні поля суми гомологів метану, обмежені ізолінією 5, добре узгоджуються з картою розподілу метану, що свідчить про єдині шляхи міграції вуглеводневого потоку до поверхні землі.

За вмістом вуглеводневих компонентів у природному потоці газу побудовано карти дебіту метану та суми його гомологів. Ці карти добре корелюють між собою, а виділені аномальні поля окреслюють структурно-тектонічні моделі по відбивальному горизонту НД-15 у сарматських відкладах. Значна диференціація полів аномальних концентрацій може свідчити про насиченість цих структур вуглеводнями.

Для вивчення зв'язків вуглеводневих компонентів був проведений кореляційний та факторний аналіз параметрів приповерхневого геохімічного поля. Кореляційний аналіз показав тісний зв'язок між вуглеводневими компонентами. Високі значення коефіцієнтів кореляції (близькі до 1) можуть свідчити про єдиний генезис досліджуваних вуглеводнів.

Факторний аналіз показав, що геохімічне поле формувалось під впливом одного фактора, вклад якого 90 %, як для сорбованих газів, так і для природного потоку газу.

Отже, поля аномальних концентрацій вуглеводневих компонентів очевидно сформовані міграційним потоком газу з потенційного джерела. Судячи з форми аномалій, дифузія тут є домінуючим процесом. Це узгоджується з висновками дослідників про те, що пастками для вуглеводнів слугували лінзоподібні прошарки пісковиків, в яких проходила їхня концентрація і які приурочені до піднять мезозою та терас палеодолин.

Згідно з отриманими результатами геохімічних досліджень поля аномальних концентрацій вуглеводневих газів приурочені до периклінальних частин структурно-тектонічних моделей, виділених за даними сейсморозвідувальних робіт, що є підтвердженням перспективності щодо їхнього флюїдонасичення.

## ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ У ВИРІШЕННІ ЗАДАЧ НАФТОГАЗОВОЇ ГЕОЛОГІЇ

Микола ХАРЧЕНКО

Державна комісія України по запасах корисних копалин, Київ, Україна  
e-mail: ukraineuser@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0002-4950-7235>

## ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN SOLVING OIL AND GAS GEOLOGY PROBLEMS

Mykola KHARCHENKO

State Commission of Ukraine on Mineral Resources, Kyiv, Ukraine

Одним з дискусійних питань нафтогазової геології є співставлення класифікацій запасів і ресурсів корисних копалин України та SPE-PRMS. Це питання є актуальним і в подальшому актуальність буде тільки зростати. Провідні українські компанії (як державні, так і приватні) і потенційні інвестори все більше застосовують SPE-PRMS, а іноземні інвестори користуються виключно SPE-PRMS. Тому неупереджений розгляд цього питання є своєчасним.

Співставлення класифікацій залежить від суб'єктивності дослідника і може бути: «об'єктивна» – залежить від кваліфікації і досвіду дослідника та використаних джерел інформації; «суб'єктивна» – залежить від поточних завдань конкретної компанії (наприклад, плани стосовно наявної ресурсної бази, зацікавленість в певних кількостях певних категорій запасів/ресурсів).

Штучний інтелект (ШІ) суттєво нівелює фактор суб'єктивності, бо використовує/аналізує джерела не «по вибору», а всі доступні. Для аналізу були застосовані наступні ШІ: ChatGPT, Google AI, Perplexity та Perplexity Pro, Gemini, яким було поставлено таке запитання: *“Виконати порівняння класифікацій кожного класу запасів і ресурсів корисних копалин України (коди класів 111, 121, 122, 211, 221, 222, 331, 332, 333, 334, 341, 342, 343, 344) та SPE-PRMS (P1, P2, P3, C1, C2, C3, U1, U2, U3, Невидобувні)”*.

Відповіді ШІ інколи були об'ємні, містили чимало загальновідомої інформації, тому увага була зосереджена на наступному: **візуалізація співставлення; обґрунтування окремих положень; висновки.**

### ***ШІ виявлені основні особливості співставлення класифікацій***

- Наявні певні відмінності у співставленні кваліфікацій.
- Наявність різних варіантів свідчить про неоднозначність співставлення.
- Найбільш «вдалою» видається співставлення Perplexity.
- Найбільш дискусійні питання – співставлення з категорією P3 SPE-PRMS (P3 може бути відсутнє в ChatGPT, Perplexity та Perplexity Pro). Тобто в цих ШІ в українській класифікації відсутні аналоги P3?
- Perplexity Pro – відсутнє співставлення не тільки з категорією P3, а й з категорією P2. Тобто в українській класифікації відсутні аналоги P2?
- ChatGPT – співставлення категорії P3 (три варіанти): наявна/відсутня/наявна (без додаткових запитань в цьому аспекті!) – неоднозначність співставлення.

- Інколи необхідне уточнююче коригування питання (Perplexity та Perplexity Pro).
- Не можна погодитись про віднесення класу 334 до Unrecoverable/Невидобувні ресурси (ChatGPT, Perplexity).
- Не можна погодитись з визначенням класу 333 як «Прогнозні ресурси, які виявлені, але видобуток неможливий» (Google AI).
- Не можна погодитись з визначенням класу 334 як «Невидобувні запаси» (Google AI).
- Не можна погодитись про віднесення класів 341, 342, 343, 344 до категорій від C2 до U3 (ChatGPT, Perplexity Pro, Google AI, Gemini).
- Не можна погодитись з визначенням U2 та U3 як Unrecoverable Resources/Невідновлювані ресурси (Google AI).

Для деталізації аналізу було поставлено наступне питання *“За яких умов запаси нафти і газу коду класу 111 української Класифікації запасів і ресурсів корисних копалин державного фонду надр можуть бути віднесені не до класу P1 класифікації SPE PRMS, а до іншого класу класифікації SPE PRMS ?”*

#### **Основні особливості (згідно із III) співставлення запасів класу 111**

Використання III для визначення умов співставлення запасів класу 111 є дуже доречним і ефективним. Запаси класу 111 за певних умов можуть бути віднесені не тільки до категорії P1 SPE-PRMS, а й до інших категорій.

Основні умови зміни співставлення класу 111 (найкраще наведені в Perplexity Pro):

- відсутність комерційного рішення про розробку;
- відсутність затвердженого плану розробки;
- відсутність фінансування проєкту;
- відсутність ринків збуту та інфраструктури;
- відсутність регуляторних дозволів;
- технологічна невизначеність;
- негативна економічна оцінка;
- екологічні та соціальні обмеження;
- юридична невизначеність;
- несприятливі умови контракту;
- санкції та політичні ризики.

Google AI акцентує на можливих змінах співставлення вже в процесі розробки «...якщо їх економічна доцільність або технічна реалізованість видобутку змінюється», тобто **зниження ціни, зростання витрат, зміна геологічної інформації, зміна законодавства**.

Таким чином запаси класу 111 можуть бути віднесені (за вищезгаданих умов) до категорій Запасів P2, P3 та Умовних ресурсів C1, C2, C3.

**Наведене дозволяє зробити наступні висновки стосовно використання III:**

- Використання III при співставленні класифікацій запасів і ресурсів нафти і газу є повністю виправданим.
- Питання потрібно ставити найбільш докладні і конкретні.
- Найбільший ефект – при вузьких питаннях (наприклад, співставлення класу 111), ніж у загальних (співставлення класифікацій загалом).

- В окремих випадках **ШІ** (Perplexity) самостійно пропонує додаткові уточнюючі питання.
- Відповіді (повторні) на одне і те ж запитання можуть інколи (не суттєво) відрізнятися.
- Всі використані **ШІ** були корисними, найкращим (суб'єктивна думка) є Perplexity Pro, можливо ще Perplexity.
- Необхідно критично фахово підходити до висновків **ШІ**.
- Висновки **ШІ** – це не рішення, це інформація для роздумів, для прийняття рішення.
- Необхідно проводити фаховий аналіз проміжних відповідей і за необхідності коригувати додаткові запитання.
- **ШІ** дає підказки, фахівець повинен їх проаналізувати, вибрати прийнятні та відхилити недостовірні.
- Інколи **ШІ** надає посилання на використані джерела. Кількість джерел може бути значною (Perplexity Pro, співставлення класифікацій, 107 джерел). Безумовно, жоден фахівець не може одночасно використати таку кількість джерел.

#### **Висновки.**

ШІ не вирішує питання. Питання вирішує фахівець. ШІ навряд чи замінить фахівця, проте може сконцентрувати напрямок рішення та суттєво його прискорити.

*Детальна презентація з цього питання доступна за посиланням: [https://www.linkedin.com/feed/update/urn:li:activity:7393924305199206400/?lipi=urn%3Ali%3Apage%3Ad\\_flagship3\\_detail\\_base%3BTfhkbbwQquch%2F5PkYCeRg%3D%3D](https://www.linkedin.com/feed/update/urn:li:activity:7393924305199206400/?lipi=urn%3Ali%3Apage%3Ad_flagship3_detail_base%3BTfhkbbwQquch%2F5PkYCeRg%3D%3D)*

УДК 551.24+553.98(477.8)

### **ПРО ГЕЛІЙ У СКЛАДІ ПРИРОДНИХ ГАЗІВ КАРПАТСЬКОЇ НАФТОГАЗОНОСНОЇ ПРОВІНЦІЇ**

**Володимир ШЛАПІНСЬКИЙ<sup>a</sup>, Ярослав ЛАЗАРУК<sup>b</sup>, Олеся САВЧАК<sup>c</sup>**

Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, Львів, Україна

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0009-0009-0403-8421>; <sup>b</sup> <https://orcid.org/0009-0002-2016-3424>;

<sup>c</sup> e-mail: [savchakolesya@gmail.com](mailto:savchakolesya@gmail.com); <https://orcid.org/0000-0003-1491-7613>

### **ON HELIUM IN NATURAL GASES OF THE CARPATHIAN OIL AND GAS PROVINCE**

**Volodymyr SHLAPINSKY<sup>a</sup>, Yaroslav LAZARUK<sup>b</sup>, Olesya SAVCHAK<sup>c</sup>**

Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals  
of the NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine

Гелій (хімічний символ **He**, лат. *Helium*) – це легкий, хімічно інертний одноатомний газ без запаху, кольору та смаку. На Землі гелій є рідкісним елементом і створюється в результаті альфа розпаду важких елементів. Гелій отримують із гелійвмісних природних газів (в даний час експлуатуються головним чином родовища, що містять >0,1 % гелію). Гелій – зручний індикатор для гелієвої зйомки, з його допомогою можна визначати на поверхні

Землі розташування глибинних розломів. Світові запаси гелію складають приблизно 45 млрд м<sup>3</sup>. У 2015 році виробництво гелію у світі склало 168 млн м<sup>3</sup>, у тому числі у США – 100 млн м<sup>3</sup>, Катарі – 40 млн м<sup>3</sup>, Алжирі – 16 млн м<sup>3</sup>, Австралії – 5 млн м<sup>3</sup>, Польщі – 3 млн м<sup>3</sup> («Гелій», 2026). У Польщі гелій входить в якості домішок до природних вуглеводневих газів, які локалізовані на так званому Нізу Польському (Західноєвропейська палеозойська платформа), в яких його вміст коливається в межах 0,02–0,45 %. Видобувні запаси гелію підраховані на 18 родовищах і характеризуються середньою концентрацією цього газу в межах 0,22–0,42% (Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, 2025). В Україні існують розвідані запаси гелію (близько 4904 млн м<sup>3</sup>). У Західному регіоні України гелій зустрінутий у складі природних газів в межах усіх складових частин Карпатської нафтогазоносної провінції від Волино-Поділля до Закарпатського прогину. Ми проаналізували, в яких відкладах і в яких концентраціях знаходиться гелій у природних газах. Інформація про це отримана в результаті вивчення аналізів природних газів у свердловинах різного призначення (таблиця).

Всього проаналізовано 1126 проб вільних газів зі свердловин, пробурених у більшості структурних підрозділів Карпатської нафтогазоносної провінції. Інтервали глибин, з яких були отримані гази, перші сотні метрів–6260 м. З них гелій виявили у 298 пробах (26,5 %). В природних газах Карпатської нафтогазоносної провінції вміст гелію коливається в дуже широких межах –

#### Вміст гелію у складі природних газів Карпатської нафтогазоносної провінції

| Структурна одиниця           | Свердловина    | Інтервал випробування | Вік порід        | Процентний вміст газів |         |                 |                |                |        |        |
|------------------------------|----------------|-----------------------|------------------|------------------------|---------|-----------------|----------------|----------------|--------|--------|
|                              |                |                       |                  | O <sub>2</sub>         | Повітря | CO <sub>2</sub> | N <sub>2</sub> | H <sub>2</sub> | He     | Σвв    |
| Східно-європейська платформа | 2-Локачі       | 905–940               | D                | 0,18                   | 0,823   | 0,909           | 6,3            | –              | 0,283  | 92,568 |
| Те саме                      | «              | 992–1022              |                  | 0,17                   | 0,777   | 0,133           | 4,601          | 0,489          | 0,221  | 94,556 |
| « «                          | 5-Локачі       | 855–878               |                  | 0,197                  | 0,9     | 0,305           | 8,78           | –              | 0,302  | 90,61  |
| « «                          | 6-Локачі       | 993–998               |                  | 0,713                  | 3,25    | 2,5             | 51,617         | 0,53           | 1,123  | 49,14  |
| « «                          | 7-Локачі       | 920–940               |                  | 0,118                  | 0,539   | 0,222           | 3,845          |                | 0,303  | 93,63  |
| « «                          | 3-Перемисьляни | 972–1109              |                  | 0,24                   | 1,149   | 1,669           | 11,74          |                | 0,582  | 85,0   |
| « «                          | «              | 3122–3160             | Є                |                        | 4,714   | 1,155           | 63,12          |                | 0,4319 | 34,86  |
| « «                          | «              | 3480–3520             |                  |                        | 5,745   | 0,307           | 9,006          |                | 0,441  | 86,728 |
| « «                          | «              | 3764–3777             |                  |                        | 5,679   | 1,484           | 45,56          | 2,038          | 0,568  | 48,9   |
| « «                          | «              | 3480–3505             |                  |                        | 8,51    | 1,75            | 9,438          | 0,594          | 0,395  | 87,688 |
| Більче-Волицька зона         | 1-Загайпіль    | 2954–3366             |                  | 5,482                  | –       | 6,201           | 6,575          | 0,348          | 1,073  | 85,46  |
| Бориславо-Покутський покрив  | 12-Завода      | 4625–4690             | P <sub>ljm</sub> | 0,304                  | 1,389   | 0,654           | 0,783          |                | 1,131  | 97,43  |
| Скибовий покрив              | 1-Сколе        | 4000–3937             | K <sub>2</sub>   |                        |         | 8,19            | 10,8           |                | 0,186  | 80,52  |
| Кросненський покрив          | 1-Бітля        | 2952–3036             | P <sub>3</sub>   |                        |         | 0,77            | 0,46           |                | 0,66   | 98,1   |
| Закарпський прогин           | 1-Ужгород      | 1799–2046             | Pz               |                        |         | 96,2            | 1,7            | 1,2            | 0,27   | 0,626  |

від 0,001 до 1,31 об. %, але в переважній більшості проб (понад 80 %) його вміст змінюється в межах 0,001–0,09 об. %. Вміст гелію, який перевищує один відсоток, зафіксовано у трьох пробах. Найвища концентрація гелію відзначена в свердловині 12-Завода в інтервалі 4625–4690 м – 1,131 %, розташованій біля с. Верхнє Синьовидне. Неподалік розміщена і параметрична свердловина 1-Сколе, в якій концентрація гелію наближається до двох десятих відсотка. Оскільки породи палеогену і крейди не є постачальниками гелію (такими є граніти), їх присутність у вуглеводневих газах можна пов'язати з близькістю до Стрийського глибинного розлому у фундаменті Карпат. Останній мабуть супроводжується підвищеною тріщинуватістю і полегшує зв'язок з глибшими горизонтами розрізу. Аномальні вмісти гелію походять також зі свердловин локалізованих і в Кросненському покриві та Закарпатському прогині. Мова відповідно про свердловини 1-Бітля і 1-Ужгород. Ще одна проба, де вміст гелію становить 1,073 %, відзначена у кембрійських відкладах у свердловині 1-Загайпіль однойменного газового родовища Більче-Волицької зони. Ці приклади свідчать про наявність одиничних пікових концентрацій гелію в газах свердловин Складчастих Карпат і прогинів на фоні мізерного їх вмісту в більшості проб в цих же структурних підрозділах. Зовсім інша ситуація виглядає на прикладі свердловин, пробурених в межах Східноєвропейської платформи. Тут з 42 аналізів вільних газів гелій ідентифікований у 25 пробах, що становить 56,85 %. У 14 пробах вміст гелію у складі газів перевищує 0,1 процента. Звертає на себе увагу те, що, крім вуглеводневих газів, гелій асоціює також з азотом. Причому останній у низці проб перевищує концентрацію вуглеводнів. Ця обставина нагадує ситуацію з родовищами гелію на території Польщі. Там гелійвмісні гази також містять значний відсоток азоту у своєму складі. Що стосується видобування гелію в промислових масштабах, то таким вимогам відповідає Локачинське газове родовище, локалізоване у Волинській області. Воно знаходиться у східній частині Львівського палеозойського прогину. Родовище пов'язане з локальним підняттям в межах Локачинського валу. Промислова газоносність доведена у відкладах тиверської серії, лопушанської, пелчинської та струтинської світ середнього девону. Дебіти газу коливаються в межах від 10 до 165 тис. м<sup>3</sup>/добу при стаціонарних режимах фільтрації. Так, у свердловині 2 Локачинського родовища при випробуванні горизонтів лопушанської світи в інтервалі 998–1022 м одержано приплив газу дебітом 127,5 тис. м<sup>3</sup>/добу на 10,78 мм діафрагмі. З цього інтервалу отримали газ, в якому вміст гелію становить 0,221 %. З відкладів повчанської світи в інтервалі 980–992 м одержано приплив газу з дебітом 36 тис. м<sup>3</sup>/добу на 6,08 мм діафрагмі. При випробуванні відкладів струтинської світи одержано приплив газу дебітом до 6,3 тис. м<sup>3</sup>/добу. Породи колектори представлені пісковиками та алевролітами з пористістю від 9,4 до 15,9 %. Загальний поверх газоносності родовища складає 190 м (Крупський, 2020).

Гелій. (2026). У *Bikinedia*. <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B5%D0%BB%D1%96%D0%B9>

Крупський, Ю. (2020). *Геологія і нафтогазоносність Західного регіону України*. Львів: Сполом.

Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy. (2025). *Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce wg stanu na 31 XII 2024 r.* PIG-PIB.

**ГЕОХІМІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ЗОЛИ ТОРФУ  
НИЗИННИХ ТОРФОВИЩ ЛЬВІВЩИНИ  
ЗА ДАНИМИ ED-XRF АНАЛІЗУ**

**Мирослава ЯКОВЕНКО<sup>a</sup>, Юрій ХОХА<sup>b</sup>**

Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, Львів, Україна

<sup>a</sup> e-mail: myroslavakoshil@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0001-8967-0489>

<sup>b</sup> e-mail: khoha\_yury@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0002-8997-9766>

**GEOCHEMICAL FEATURES OF PEAT ASH  
FROM LOWLAND PEATLANDS OF THE LVIV REGION  
BASED ON ED-XRF ANALYSIS**

**Myroslava YAKOVENKO<sup>a</sup>, Yurii KHOKHA<sup>b</sup>**

Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals  
of the NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine

Торфові відклади низинних торфовищ є чутливими індикаторами змін гідрологічного режиму, мінерального живлення, атмосферного надходження пилового матеріалу та локального техногенного впливу. Для органогенних матриць застосування XRF/ED-XRF ускладнюється високим вмістом органічної речовини, вологістю, неоднорідністю матриці й ефектами розсіювання. Тому дослідження зольного залишку є методично доцільним: після озонення зменшується вплив води й органічної речовини на аналітичний сигнал і концентрується мінеральна складова торфуги.

Метою роботи було встановити геохімічні особливості золи торфуги низинних торфовищ Львівщини за даними енергодисперсійної рентгенофлуоресцентної спектроскопії (ED-XRF) та виділити провідні мінерально-геохімічні асоціації зольного залишку.

Матеріалом дослідження є 59 проб торфуги з 14 ділянок Львівщини: Білогорща, Артищів, Гончари, Скнилівка, Гамаліївка, Полонична, Угри, Бишів, Любінь Великий, Солокія, Малі Підліски, Великі Грибовичі, Рудно та Дмитрів (Вузлове). Частина профілів охоплює вертикальні інтервали 0–20, 20–40, 40–60, 60–80, 80–100, 100–120 і 120–140 см. У пробах визначали вологість, зольність і рН; вміст органічної речовини розраховували за різницею між сухою масою і зольністю.

Проби висушували при 105 °C до сталої маси й прожарювали при 500–510 °C. Вміст хімічних елементів у золі визначали на X-Ray Fluorescence Spectrometer ElvaX (Elvatech) в лабораторії кафедри фізичної, аналітичної та загальної хімії Національного університету «Львівська політехніка». Первинні концентрації розглядали як C<sub>ash</sub>, ppm; для коректного зіставлення проб із різною часткою мінеральної фази й води їх перераховували на суху масу торфуги (C<sub>dry</sub>) та природно-вологу масу (C<sub>wet</sub>). Математико-статистична обробка охоплювала описову статистику, Spearman-кореляції для log<sub>10</sub>-трансформованих даних, PCA після z-нормування та ієрархічну класифікацію методом Ward.

Досліджені проби характеризуються широким діапазоном умов: рН 3,25–7,98, зольність 9,69–94,07 %, вологість 3,95–87,41 %. У складі золи провідну роль відіграють Ca, Si, Cl, Fe, Al, S і K. Середній вміст Ca становить 429 087 ppm, Si – 168 583 ppm, Cl – 181 465 ppm, Fe – 96 891 ppm, Al – 38 288 ppm, S – 35 576 ppm, K – 16 984 ppm. Така структура вказує на поєднання карбонатно-кальцієвої, алюмосилікатно-теригенної, сульфатно-хлоридної та залізистої складових.

Найвищі середні вмісти Ca встановлено для Гончарів і Бишева, тоді як підвищені концентрації Si, Al, K, Ti, Zr та Rb виразніше проявлені у пробах Угрів, Любень Великого, Великих Грибовичів, Малих Підлісків, Солокії та Рудного. Мікроелементний склад золи характеризується високою варіабельністю: максимальні вмісти As (757,8 ppm), Zn (2352,3 ppm) і Cu (1558,1 ppm) пов'язані переважно з Артищевом, максимум Pb (479,4 ppm) – із Дмитровом (Вузлове), тоді як підвищені вмісти Ni і Cr характерні для Любень Великого, Рудного, Солокії та Великих Грибовичів. Водночас такі локальні максимуми не слід автоматично інтерпретувати як ознаки забруднення без додаткової аналітичної верифікації, оскільки ED-XRF аналіз зольного залишку відображає склад сконцентрованої мінеральної фази торфу, а результати для органічних матриць істотно залежать від матричних ефектів, зольності та пробопідготовки.

Ранговий кореляційний аналіз Spearman для log10-трансформованих даних показав, що зольність має стійкі від'ємні зв'язки з S і Br, тоді як рН від'ємно корелює з S, Fe, Cu та Mn. Це вказує на роль кислотно-лужних умов, органічної речовини та Fe-Mn фаз у перерозподілі окремих елементів у зольному залишку. PCA відокремлює алюмосилікатно-теригенну асоціацію Ti-Al-Si-Zr-K-Cl-Y від Ca-збагаченої карбонатної складової, а також підкреслює роль Zn-As-Cu-Fe аномалій.

Ієрархічна кластеризація методом Ward дала змогу виділити чотири інтерпретаційні геохімічні групи. Кластер 1 охоплює переважно Угри, Любін Великий, Великі Грибовичі, Солокію, Малі Підліски, Рудно, Дмитрів (Вузлове), Скнилівку, верхні горизонти Білогорщі та частину Бишева; він відповідає алюмосилікатно-Fe-збагаченому й мікроелементно контрастному типу золи. Кластер 2 об'єднує верхню і середню частини профілю Гончарів та частину Бишева і характеризується карбонатно-змішаним складом із високим Ca та нейтрально-слаболужним рН. Кластер 3 включає глибші горизонти Білогорщі,

#### Геохімічні асоціації золи торфу низинних торфовищ Львівщини за ED-XRF даними

| Асоціація / група                      | Діагностичні ознаки                                                                 | Геохімічна інтерпретація                                                                            |
|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ca-Sr / карбонатно-кальцієва           | Високий Ca; нейтрально-слаболужні рН; найвиразніше Гончари, Бишів                   | Карбонатне живлення, Ca-вмісні мінеральні фази, зростання нейтралізуючої ролі мінеральної складової |
| Si-Al-K-Ti-Zr-Rb / алюмосилікатна      | Підвищені Si, Al, K, Ti, Zr, Rb; Угри, Любін Великий, Великі Грибовичі, Рудно       | Теригенний, пиловий або делювіально-алювіальний внесок; кварц-польовошпатована та глиниста складова |
| S-Br-Mn-Fe / органічно-Fe-Mn           | Зв'язки S і Br з OP; від'ємні кореляції рН з S, Fe, Cu, Mn                          | Роль органічної речовини, кислотно-лужних умов, Fe-Mn фаз і редокс-процесів                         |
| Zn-As-Cu-Fe / мікроелементні максимуми | As, Zn, Cu – Артищів; Pb – Дмитрів (Вузлове); Ni-Cr – Любін Великий, Рудно, Солокія | Локальні літолого-геохімічні або техногенно асоційовані аномалії                                    |

Артищів, Гамаліївку та Полоничну й репрезентує Ca-S-Fe-As асоціацію низькозольних органогенно насичених проб. Кластер 4 є Ca-екстремальним карбонатним підтипом, властивим нижній частині профілю Гончарів і частині Бишева. Найвиразніші профільні зміни встановлено для Гончарів, де з глибиною відбувається перехід від кластера 2 до кластера 4, та для Білогорщі, де верхні горизонти належать до кластера 1, а глибші – до кластера 3.

Отже, ED-XRF аналіз золи торфу у поєднанні з перерахунком концентрацій на суху та природно-вологу масу і багатовимірною статистикою дає змогу не лише оцінити вміст елементів у зольному залишку, а й розділити провідні мінерально-геохімічні асоціації низинних торфовищ Львівщини. Отримані результати можуть бути використані для формування регіональної геохімічної бази даних, уточнення умов торфоутворення та попереднього еколого-геохімічного оцінювання ділянок із локальними мікроелементними аномаліями.

Наукова новизна роботи полягає у поєднанні ED-XRF аналізу зольного залишку з матричним перерахунком концентрацій і багатовимірною статистикою, що дозволило розглядати золу торфу як індикатор мінеральних джерел, кислотно-лужного режиму та локальних мікроелементних аномалій. Такий підхід є перспективним для регіональної паспортизації торфовищ і може бути адаптований до інших органогенних та органо-мінеральних матриць, зокрема торфових ґрунтів, органічних горизонтів ґрунтів, золи біомаси та вуглецевмісних матеріалів.

UDC 553.93: 551.735.1(477.8)

## **MORPHOLOGICAL ANALYSIS OF COAL SEAMS OF THE LVIV-VOLYN COAL BASIN**

**Mykhailo MATROFAILO<sup>1</sup>, Mykola KOROL<sup>2</sup>, Volodymyr LAZAR<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals  
of the NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine

e-mail: mmatrofaylo@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-4175-6037>

<sup>2</sup> Department “Geological Exploration Expedition”

of Separate Subdivision of the “Assembly and Drifting of Mine Workings Department”  
of the State Enterprise “Lvivvuhillya”, Sheptytskyi, Ukraine

e-mail: lvug@ukr.net, vuggre@ukr.net

## **МОРФОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ВУГІЛЬНИХ ПЛАСТІВ ЛЬВІВСЬКО-ВОЛИНСЬКОГО ВУГІЛЬНОГО БАСЕЙНУ**

**Михайло МАТРОФАЙЛО<sup>1</sup>, Микола КОРОЛЬ<sup>2</sup>, Володимир ЛАЗАР<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, Львів, Україна

<sup>2</sup> Відділ «Геологорозвідувальна експедиція» Відокремленого підрозділу  
«Управління монтажу, демонтажу та ремонту обладнання»

Державного підприємства «Львіввугілля», Шептицький, Україна

Morphological analysis of coal seams is a method of studying coal-bearing formations that characterizes, determines and reliably assesses the space-time features of the distribution of morphological indicators of coal seams (thickness, variability of thickness, structure, erosion and cleavage, contours of zero and industrial

capacity, etc.), which are used to solve a complex of scientific and applied problems for the development of the coal industry. Morphological analysis of coal seams is an important direction in coal geology, which explains the origin, formation of the modern shape and size of coal seams and changes in their parameters and phenomena on the area (Matrofailo, 2018, 2020, 2025).

Morphological analysis of coal seams as a methodical and complementary aspect of the formational analysis of coal-bearing deposits, on a level with paleogeographic studies, reveals in detail and complements the history of formation, composition, structure, structure and distribution of the formation both at individual stages of the formation of coal seams and the coal-bearing stratum in general.

Studies of the morphology of coal seams of the Lviv-Volyn Coal Basin (LVB) are carried out using a complex of methods and approaches, which are combined with the aim of comprehensively studying the morphological features of coal deposits and the coal-bearing stratum in general. The basis is the morphological analysis of coal seams; methods of mapping and geological typification of the main morphological parameters of coal seams; correlations of Carboniferous deposits; lithological-stratigraphic and paleopotamian analyses; methods of constructing detailed morphological sections and profiles; paleoreconstructions of coal-bearing deposits; paleotectonic analysis of Carboniferous deposits, etc. (Bezruchko & Matrofailo, 2015; Matrofailo, 2016, 2017, 2025; Matrofailo et al., 2015 etc.).

Of great importance in studying the morphology of coal seams are well drilling, geophysical and mining methods, without which it is impossible to study the deep geological structure of the LVB coal-bearing formation. They are systematically carried out by the Lviv, Lviv-Volyn geological exploration expeditions and the coal mining enterprise of the State Enterprise "Lvivvuhillya".

The relevance of the conducted research lies in the comprehensive study of sedimentation processes, substantiation of industrial significance, determination of the main parameters and delineation of unfavourable for development areas of coal seam cleavage for stable and effective coal mining.

Genetic features of the morphology of coal seams of the LVB were studied in stages in the Novovolynsk and Chervonohrad geological and industrial and South-Western coal-bearing areas. Geological and industrial typification of the coal seams of the basin was carried out in accordance with the developed gradations using alphanumeric indexing of the main morphological indicators (thickness, structure, erosion damage, etc.) (Matrofailo, 2016, 2017, 2018, 2025; Matrofailo et al., 2015; Shulga et al., 2010 etc.).

As a result, maps of the morphology and thickness of the main industrial seams of the LVB were compiled on a scale of 1 : 25 000, their geological and industrial typification was carried out according to the main morphological indicators, etc. The general and predominant types of seams that are common within the mine fields and deposits of the region are plotted on morphology maps and presented in the table. Lithological-stratigraphic, morphological profiles and detailed morphological sections of the main industrial coal seams were compiled, a comparison of the features of the morphology of coal seams in the geological-industrial areas of the basin was carried out, etc.

When applying the morphological analysis of coal deposits, it is important to draw a contour of the splitting of coal seams. On the one hand, the splitting

boundary has a genetic value, characterizing the features of the formation of the deposit; on the other hand, it is an applied one, which is directly related to coal mining, reflecting the extent to which simultaneous development of split-off layers of the seam in the splitting areas is possible by ash content.

For the first time, for the basin, in particular, a typification of the splittings of the South-Western region was carried out, a zonal change in the morphology of coal seams was established, the main genetic criterion of which is the factor of stability of the conditions for the accumulation of organic matter in coal, which is based on the splitting of coal seams, and diagnostic features of the selected morphological and genetic zones were determined. Also, for the first time, morphological and genetic typing of cleavages was carried out for the basin, in which atectonic and tectonic types of splittings were distinguished.

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.

- Bezruchko, K. A., & Matrofailo, M. M. (2015). Typification and areal distribution of splittings in coal seams of the Lviv-Volyn Basin. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 4, 5–12. <http://nvngu.in.ua/index.php/en/component/jdownloads/finish/55-04/8339-2015-04-bezruchko/0>
- Matrofailo, M. (2016). On the methodology of morphological analysis of coal seams of the Lviv-Volyn coal basin. *Visnyk of the Lviv University. Series Geology*, 30, 159–164. <https://geology.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2022/01/14-pp159-164.pdf>
- Matrofailo, M. (2017). Application of morphological analysis of coal seams in the Lviv-Volyn coal basin. *Visnyk of the Lviv University. Series Geology*, 31, 56–66. <https://journals.lnu.lviv.ua/index.php/geology/article/view/133>
- Matrofailo, M. M. (2018). Varieties of variability of the morphology of coal seams of coal basins. *Proceedings of the Institute of Geology of the National Academy of Sciences of Ukraine*, 11, 32–39. <https://doi.org/10.30836/igs.2522-9753.2018.150906>
- Matrofailo, M. (2020). Research on the morphology of coal seams of the Lviv-Volyn coal basin. In *From mineralogy and geognosy to geochemistry, petrology, geology and geophysics: fundamental and applied trends of the 21st century (MinGeoIntegration XXI): Proceedings of the All-Ukrainian Conference (Kyiv, September 23–25, 2020)* (pp. 195–199). Kyiv. [http://www.geol.univ.kiev.ua/docs/conf/Mingeo2020\\_materials.pdf](http://www.geol.univ.kiev.ua/docs/conf/Mingeo2020_materials.pdf)
- Matrofailo, M. M. (2025). Shrinkage of the initial organic matter of coal: a method for establishing morphological and genetic types of cleavages of coal seams of the Lviv-Volyn coal basin. In *Earth Sciences, Geography, and Cartography: Regional Studies and Spatial analysis: Scientific monograph* (edited by authors) (pp. 58–81). Riga, Latvia: Baltija Publishing. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-596-9-4>
- Matrofailo, M., Kostyk, I., & Korol, M. (2015). Methodology for studying the morphology of coal seams in the Lviv-Volyn coal basin. *Visnyk of the Lviv University. Series Geology*, 29, 18–28. <https://geology.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2016/05/Matrofaylo.pdf>
- Shulga, V. F., Matrofailo, M. N., Kostyk, I. E., & Korol, N. D. (2010). Study of the morphology of coal seams in Ukraine. Current state. Directions for further development. *Collection of Scientific Papers of the Institute of Informatics of the National Academy of Sciences of Ukraine*, 3, 350–358. <https://doi.org/10.30836/igs.2522-9753.2010.151781>

***Геологічна і геохімічна палеоокеанографія  
давніх континентальних окраїн***

---

УДК 551.76+551.77 (477.7)

**ГЕОЛОГО-ПАЛЕОГЕОГРАФІЧНА ІСТОРІЯ  
КРЕЙДОВО-ОЛІГОЦЕНОВОГО СЕДИМЕНТОГЕНЕЗУ  
ЗАХІДНОЇ ЦЕНТРИКЛІНАЛІ  
ПРИЧОРНОМОРСЬКОГО МЕГАПРОГІНУ**

**Володимир ГНІДЕЦЬ<sup>a</sup>, Костянтин ГРИГОРЧУК<sup>b</sup>, Оксана КОХАН<sup>c</sup>,  
Володимир РЕВЕР, Анастасія РЕВЕР<sup>d</sup>, Ліна БАЛАНДЮК**

Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, Львів, Україна

<sup>a</sup> e-mail: vgnidets53@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0001-6372-7878>

<sup>b</sup> e-mail: kosagri@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0003-1595-0968>

<sup>c</sup> e-mail: kohanom8@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0009-1075-9591>

<sup>d</sup> <https://orcid.org/0009-0001-5989-4542>

**GEOLOGICAL-PALEO GEOGRAPHICAL HISTORY  
OF CRETACEOUS-OLIGOCENE SEDIMENTOGENESIS  
OF THE WESTERN CENTRICLINAL  
OF THE BLACK SEA MEGADEPRESSION**

**Volodymyr HNIDETS<sup>a</sup>, Kostyantyn HRYHORCHUK<sup>b</sup>, Oksana KOKHAN<sup>c</sup>,  
Volodymyr REVER, Anastasiia REVER<sup>d</sup>, Lina BALANDYUK**

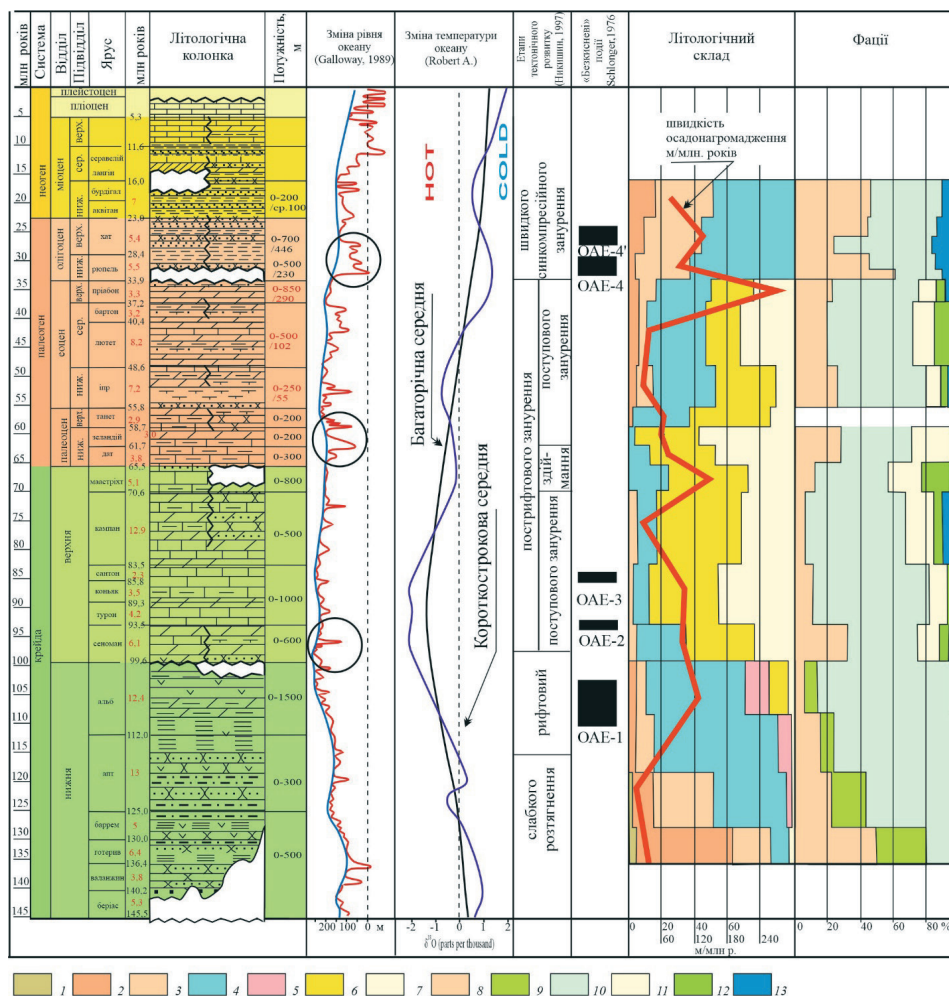
Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals  
of the NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine

Спираючись на значний фактичний матеріал та комплекс оригінальних літологічних, мінералогічних, структурно-текстурних і геофізичних досліджень крейдово-олігоценового осадового комплексу Причорноморсько-Кримського басейну Скіфського шельфу океану Тетіс (Гнідець та ін., 2010, 2013, 2023; Ревер, 2016), відтворені особливості осадонагромадження в його межах та оцінено вплив на ці процеси тектонічних факторів, евстатичних коливань рівня Світового океану і варіацій температурного режиму вод.

- Підняття рівня моря в готерив-аптський час у поєднанні з перманентно активними субмеридіональними диз'юнктивними порушеннями зумовили формування складної блокової морфоструктури ложа басейну осадоутворення, яка в альбський час унаслідок активізації субширотних розломів зазнала адекватних змін, що призвело до трансформації морфоструктури седиментаційного басейну та динаміки розподілу осадового матеріалу в його межах із формуванням субширотної структурно-фаціальної зональності.

- У сеноман-еоценовий час подальше підняття рівня моря та потепління клімату зумовили домінування біогенного карбонатного седиментогенезу, а відносно спокійний тектонічний режим сприяв виположуванню дна басейну та формуванню субширотної структурно-фаціальної зональності.

- Олігоцен-ранньоміоценове падіння рівня моря та зниження температури водного басейну в поєднанні з різноспрямованими тектонічними



### Седиментологічний літопис Причорноморсько-Кримського басейну. Крейдово-олігоценовий час.

Літологічний склад: 1 – конгломерати-гравеліти; 2 – піскивики; 3 – алевроліти; 4 – аргіліти; 5 – вулканіти; 6 – мергелі; 7 – вапняки. Фації: 8 – суходіл, 9 – алювіально-дельтова, 10 – шельф внутрішній, 11 – бар’єрна зона, 12 – органічно-уламкові шлейфи передового схилу, 13 – зовнішній шельф

порухами зумовили формування в межах седиментаційного басейну каскаду локальних депоцентрів, що відобразилося в конфігурації ізопахіт та закономірностях поширення літологічних комплексів.

- Реконструйовано геолого-палеогеографічні умови седиментогенезу в періоди прояву безкисневих подій ОАЕ-1 (альб), ОАЕ-2, ОАЕ-3 (сеноман-турон) та ОАЕ-4 (олігоцен); обґрунтовані різні моделі нагромадження оса-дів, збагачених органічною речовиною: естуарієва – у ранньокрейдівий та олігоценовий час, та апвелінгова – у пізньокрейдівий.

Гнідець, В. П., Григорчук, К. Г., Захарчук, С. М. та ін. (2010). *Геологія нижньої крейди Причорноморсько-Кримської нафтогазоносної області (геолого-структурні умови, седименто-літогенез, породи-колектори, перспективи нафтогазоносності)*. Львів; Київ.

- Гнідець, В. П., Григорчук, К. Г., Кохан, О. М., Ревер, А. О., & Баландюк, Л. В. (2023). Літогенез майкопських відкладів Причорноморського мегапрогину. Львів. <http://iggcm.org.ua/wp-content/uploads/2023/12/ЛІТОГЕНЕЗ-МАЙКОПСЬКИХ-ВІДКЛАДІВ.pdf>
- Гнідець, В. П., Григорчук, К. Г., Куровець, І. М., Куровець, С. С., Приходько, О. А., Грицик, І. І., & Баландюк, Л. В. (2013). *Геологія верхньої крейди Причорноморсько-Кримської нафтогазоносної області України (геологічна палеоокеанографія, літогенез, породи-колектори і резервуари вуглеводнів, перспективи нафтогазононості)*. Львів: Друк СП ТЗОВ «Полі».
- Ревер, В. Б. (2016). *Літогенез еоценових відкладів Чорноморського сегменту океану Тетис*. Київ: Наукова думка.

УДК 552.143.551.763 (477.8)

## СЕДИМЕНТОГЕНЕЗ І ЛІТОГЕНЕТИЧНІ ОСОБЛИВОСТІ КРЕЙДЯНИХ ВІДКЛАДІВ УКРАЇНСЬКИХ КАРПАТ

**Ігор ПОПП<sup>а</sup>, Галина ГАВРИШКІВ<sup>б</sup>, Петро МОРОЗ<sup>с</sup>**

Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, Львів, Україна

<sup>а</sup> e-mail: [itropp@ukr.net](mailto:itropp@ukr.net); <https://orcid.org/0000-0002-7459-0037>

<sup>б</sup> e-mail: [galinah2404@gmail.com](mailto:galinah2404@gmail.com); <https://orcid.org/0009-0002-3376-8895>

<sup>с</sup> e-mail: [petro.m.v@gmail.com](mailto:petro.m.v@gmail.com); <https://orcid.org/0009-0002-3376-8895>

## SEDIMENTOGENESIS AND LITHOGENETIC FEATURES OF CRETACEOUS DEPOSITS OF THE UKRAINIAN CARPATHIANS

**Igor POPP<sup>a</sup>, Halyna GAVRISHKIV<sup>b</sup>, Petro MOROZ<sup>c</sup>**

Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals  
of the NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine

Крейдяні флішові відклади північного схилу Українських Карпат, на відміну від товщ палеогенового віку, не містять промислових покладів вуглеводнів. В них наявні окремі прояви нафтогазононості. Тому вони залишаються перспективним об'єктом для пошуків родовищ нафти і газу, що зумовлює актуальність їх детального літологічного та седиментологічного вивчення (Колодій та ін., 2004; Сеньковський та ін., 2012; Шлапінський та ін., 2024).

Основними об'єктами наших досліджень були вуглецевмісні скременилі теригенно-глинисті відклади шипотської і спаської світ (верхній барем – альб) і ваяковисто-глинисто-теригенний фліш стрийської світи (верхній турон – нижній палеоцен) (Сеньковський та ін., 2012; Шлапінський та ін., 2024).

Характерною особливістю мезопелагічних верхньобарем-альбських відкладів шипотської і спаської світ є високий вміст органічної речовини (ОР) і біогенного кремнезему в теригенно-глинистих породах, наявність в товщі проверстків силіцитів (фтанітів, спонголітів, гезів) і діагенетичних карбонатних конкрецій. Ці осадові товщі характеризуються нами як нафтогазоматеринські і потенційно нафтогазоносні. Потенційними породами-колекторами вуглеводнів в нафтогазоносних відкладах нижньої крейди насамперед є пісковики. В якості нетрадиційних колекторів тріщинуватого типу можуть виступати бітумінозні відміни глинистих, кременистих, карбонатних порід.

Формування вуглецевмісних товщ верхнього барему – альбу Українських Карпат пов'язане (Сеньковський та ін., 2012) з фазою океанічних безкисневих подій ОАЕ-1, яка всередині крейдового періоду широко проявила себе у Світовому океані. Седиментація цих осадових утворень відбувалася в зоні кисневого мінімуму, переважно нижче глибини карбонатної компенсації (ГКК). Поступовий перехід від нижньокрейдяних чорносланцевих до верхньокрейдяних карбонатних і строкатих (зеленувато-сірих і червоних) відкладів вгору по розрізу є свідченням зміни фізико-хімічних умов в придонних водах седиментаційного басейну від анаеробних відновних до аеробних окисних, а також підвищення рівня моря. Червоні глинисті верстви в нижній частині яловецької світи (сеноман) є свідченням глобальної події CORBs (Cretaceous Oceanic Red Beds), коли в пелагіалі океанічних басейнів переважали різкоокисні умови.

Нижньокрейдяні відклади навіть в умовах земної поверхні (зразки з відслонень) проявляють ознаки порід, які зазнали постседиментаційних перетворень зони глибинного катагенезу. В таких породах відбивна здатність вітриніту становить 8,5–10,6 %, а шаруваті силікати представлені гідрослюда-монтморилоніт, де вміст останнього не перевищує 5 %. В глибоких горизонтах гідрослюда за структурою наближається до гідромусковіту. На глибинах 5,3–7,2 км (св. Шевченко-1) в пісковицях розвинені конформні, інкорпораційні структури, починається перекристалізація пелітоморфного карбонатного цементу. Порооди тріщинуваті. Багато тріщин заповнені вторинним кристалічним кальцитом, кварцом і халцедоном, а також бітумом. В таких породах слід прогнозувати розвиток колекторів змішаного (порово-тріщинного, тріщинно-порового) і тріщинного типів. В зразках тріщинуватих пісковиць спаської світи (інт. 7014–7022 м) із свердловини І-Шевченко-во у шліфах спостерігаються порові та тріщинно-кавернозно-порові колектори, в порожнинах яких знаходиться нафта.

Формуванню літогенетичної тріщинуватості і утворенню «нетрадиційних колекторів» тріщинного типу сприяла шарувата текстура збагачених ОР порід, седиментація яких відбувалася в безкисневих умовах (фази океанічних безкисневих подій ОАЕ-1), де була відсутня бентосна фауна і, відповідно, не відбулися біотурбації. Під час літогенетичних процесів у формуванні вторинного порового простору брали участь три основні компоненти відкладів: глинисті мінерали, аутигенний кремнезем, ОР.

Карбонатно-теригенні відклади стрийської світи (1150–1800 м) Скибової зони Карпат і Передкарпатського прогину охоплюють розріз від верхньої частини туронського ярусу до низів палеоцену. Вони є потенційно нафтогазоносними. Пісковики і алевроліти можуть бути породами-колекторами вуглеводнів. Особливу увагу при дослідженні колекторських властивостей порід слід звернути на їх карбонатність. Слід відзначити, що карбонатні мінерали є більш здатними до активного перерозподілу під час постседиментаційних процесів порівняно з глинистими і кремнеземовими. Вторинна кальцитизація заповнює первинні пори і знижує фільтраційно-ємнісні властивості порід.

Вміст карбонатного матеріалу в породах стрийської світи зменшується вгору по розрізу, що можна пояснити підвищенням рівня ГКК в Карпатському басейні в кінці крейдового періоду або встановленням умов, несприятливих для розвитку організмів з карбонатною функцією. Найбільш перспективними породами-колекторами вуглеводнів є так звані «ямнеподібні» пісковики, широко розповсюджені у верхній частині стрийської світи, що характеризуються порівняно нижчим вмістом карбонатів.

Таким чином, проведені дослідження дозволяють зробити наступні **висновки:**

1. В крейдовому осадовому комплексі Українських Карпат сформувалися як товщі псамітолітів, які можуть бути резервуарами вуглеводнів, так і бітумінозні нафтоматеринські кременисто-глинисті відклади, що зумовило їх нафтогазоносність.

2. Потужні піскуваті товщі спаської, шипотської і стрийської світ є потенційними колекторами нафти і газу. Вони є відкладами гравітаційних потоків на другому рівні лавинної седиментації, в підніжжі континентального схилу північної континентальної окраїни океану Тетіс.

3. Утворення бітумінозних нафтоматеринських кременисто-глинистих відкладів спаської і шипотської світ пов'язане зі сповільненням процесів теригенного осадоагромадження і фазою океанічних безкисневих подій ОАЕ-1 (барем–альб). Літогенетичні особливості таких порід (трансформація породоутворювальних глинистих і кремнеземових мінералів та розсіяної ОР) зумовлює формування в них зон «нетрадиційних колекторів» трищинного типу.

Колодій, В. В., Бойко, Г. Ю., Бойчевська, Л. Е. та ін. (2004). *Карпатська нафтогазоносна провінція*. Львів; Київ: Український видавничий центр.

Сеньковський, Ю. М., Колтун, Ю. В., Григорчук, К. Г. та ін. (2012). *Безкисневі події океану Тетіс. Карпато-Чорноморський сегмент*. Київ: Наукова думка.

Шлапінський, В. Є., Лазарук, Я. Г., Попп, І. Т., & Гавришків, Г. Я. (2024). Літолого-стратиграфічні особливості нижньокрейдових відкладів Скибового і Дуклянсько-Чорногорського покривів Українських Карпат та перспективи їх нафтогазоносності. *Геологічний журнал*, 1(386), 62–80. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2024.1.283657>.

**УМОВИ КРЕМЕНЕНАГРОМАДЖЕННЯ  
В КАРПАТСЬКОМУ СЕДИМЕНТАЦІЙНОМУ БАСЕЙНІ ТА  
ЛІТОГЕНЕЗ СИЛІЦИТІВ (ЮРА, КРЕЙДА, ПАЛЕОГЕН)**

**Ігор ПОПП<sup>a</sup>, Юлія ГАСЬВСЬКА<sup>b</sup>**

Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, Львів, Україна

<sup>a</sup> e-mail: itpopp@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0002-7459-0037>

<sup>b</sup> e-mail: yuhaievska@ukr.net; <https://orcid.org/0009-0006-8947-3913>

**CONDITIONS OF SILICA ACCUMULATION  
IN THE CARPATHIAN SEDIMENTATION BASIN  
AND LITHOGENESIS OF CHERTS  
(JURASIC, CRETACEOUS, PALEOGENE)**

**Igor POPP<sup>a</sup>, Yulia HAYEVSKA<sup>b</sup>**

Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals  
of the NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine

Біогенні кременисті відклади складчастих областей зазнали значних пост-сидиментаційних змін, і тому їх мінеральний склад і структурно-текстурні ознаки не несуть вичерпної інформації про первинні генетичні особливості. Тому проблема їх походження (біогенне, хемогенне, вулканогенне) є дискусійною. Вважаємо основним способом кремененагромадження впродовж крейди і палеогену в Карпатському сегменті океану Тетис біогенну сидиментацію кремнезему (Сеньковський та ін., 2012; Popp et al., 2022).

Об'єктом наших досліджень літологічними, мінералого-петрографічними і фізико-мінералогічними (рентгенодифрактометрія, інфрачервона спектроскопія, електронна мікроскопія) методами були фтаніти, вапняковисті силіцити, діатоміти, конкреційні кремені кременистих горизонтів шипотської і спаської (баррем–альб), манявської (нижній еоцен), менілітової і дусинської світ (олігоцен). Для порівняльної характеристики використані результати досліджень конкреційних кременів, розвинених у вапняках свалівської світи (титон–неоком).

Кременисті породи типу фтанітів і вапняковистих силіцитів ми вважаємо продуктом глибоких діагенетичних та постдіагенетичних перетворень біогенних кременистих осадів переважно діатомового складу та відносимо їх до групи криптобіогенних силіцитів. У них лише спорадично наявні збережені релікти організмів з кремнієвою функцією. Структурна трансформація біогенного кремнезему проходила за такою схемою: опал-А (скелетні рештки організмів або органогенний гель  $\text{SiO}_2$  після їх розчинення)  $\rightarrow$  опал-СТ  $\rightarrow$  кварц (халцедон низької структурної впорядкованості з домішкою мінеральної фази опалу-СТ)  $\rightarrow$  халцедон високої структурної упорядкованості. Для порівняння цікавими є осадові утворення формації Монтерей (верхній міоцен) в Каліфорнії. За літологічним складом (значне поширення вуглецевмісних кременисто-глинистих порід і силіцитів) і безкисневими умовами сидиментації дещо подібні до бітумінозних товщ Карпат, але молодші за віком і зазнали менш глибоких катагенетичних перетворень.

Зокрема, з верхньої до нижньої частини розрізу тут можна спостерігати різні стадії перетворення біогенного кремнезему, які в олігоценових менілітових відкладах в більшості розрізів вже завершені: від складених опалом-А діатомітів до порцеланітів (опал-СТ) і, нарешті, до кварц-халцедонових фтанітоподібних кременистих сланців.

Біогенна седиментація кремнезему в барем-альбі і олігоцені в Карпатському басейні відбувалася в аноксичному відновному середовищі (фази океанічних безкисневих подій ОАЕ-1 і ОАЕ-4). Такі умови були сприятливі для інтенсивного діагенетичного перетворення біогенного кремнезему у зв'язку з коливаннями  $pH$  під час різних реакцій деструкції органічної речовини (сульфат-редукції, метаногенного розкладу).

Під час діагенезу і катагенезу біогенних кременистих відкладів відбувалося, по-перше, часткове або майже повне руйнування первинної біоморфної структури і, по-друге, трансформація низькотемпературних мінеральних форм кремнезему за схемою опал-А  $\rightarrow$  опал-СТ  $\rightarrow$  халцедон (кварц). Суттєво на постседиментаційні перетворення біогенного кремнезему впливали геохімічні процеси з участю органічної речовини, діагенетичний перерозподіл речовини, пов'язаний з нерівномірними значеннями  $pH$ , а також термобаричні умови на стадії катагенезу. На етапі раннього діагенезу внаслідок біогенного відновлення сульфатів з одночасним окисненням органічної речовини (сульфат-редукції) значення  $pH$  збільшувалися. У відновно-лужному середовищі відбувалося розчинення скелетних решток кремнеорганізмів (переважно діатомей). На пізніших етапах діагенезу внаслідок метаногенного розкладу органічної речовини  $pH$  знижувалося і аутигенний кремнезем осаджувався у вигляді мінеральних агрегатів опалу-СТ або кварцу (халцедону), що характеризуються неорганогенною структурою.

Важливим фактором аутигенного мінералогенезу був діагенетичний перерозподіл карбонатного і кременистого компонентів відкладів, зумовлений дуже мінливим кислотно-лужним режимом середовища. Менш інтенсивні перетворення біогенного кремнезему відбувалися в глинисто-кременистих відкладах, що можна показати на прикладі добромільських діатомітів, складених опалом-А. На етапі пізнього діагенезу і стадії катагенезу в результаті збільшення тиску і температури відбувалася подальша постседиментаційна трансформація низькотемпературних мінеральних форм  $SiO_2$ , а саме розкриталізація халцедону низької структурної впорядкованості з домішкою мінеральної фази опалу-СТ в халцедон високої структурної упорядкованості (кварц).

Результати проведених досліджень дозволяють зробити **висновок**, що структурно-текстурні ознаки і речовинний склад (седиментаційно-діагенетичні текстури, збереженню яких сприяла відсутність бентосної фауни і біотурбацій, підвищений вміст розсіяної органічної речовини, наявність аутигенного піриту, характерного для відновних мінералого-геохімічних фацій) окремих літологічних типів силіцитів (фтанітів, вапняковистих силіцитів) нижньої крейди і олігоцену Українських Карпат свідчать, що їх седиментогенез і діагенез відбувалися в умовах сильного дефіциту кисню. Отже, досліджені кременисті породи можна вважати індикаторами океанічних безкисневих подій (фази ОАЕ-1 і ОАЕ-4), під час яких анаеробне відновне середовище сприяло фосилізації величезної кількості органічної речовини.

На прикладі постсидиментаційних перетворень біогенного кремнезему можна показати процес структурної перебудови речовини на різних ієрархічних рівнях її організації: від структури кристалічної решітки мінералів (гелеподібний біогенний кременистий осад → опал-А → опал-СТ → халцедон-I (халцедон низької структурної впорядкованості з мінеральними включеннями опалу-СТ) → халцедон-II (халцедон (кварц) високої структурної впорядкованості)) до мікроструктури, зумовленої розміром і формою окремих мінеральних частинок (ультрамікроструктури: пластівцеподібна, коломорфна → глобулярна → (агрегатно-глобулярна → гранулярна, кристаломорфно-глобулярна) → кристаломорфна → (субкристаломорфна, субгранулярна)) і, нарешті, до структури породи, зумовленої будовою мінеральних агрегатів (мікроструктури). Під час діа-, катагенезу кременистих відкладів відбувається руйнування первинної біоморфної структури біогенних кременистих відкладів; зникнення неоднорідностей в будові мінеральних агрегатів (халцедонових параморфоз по рештках кременеорганізмів, включень віялоподібного і волокнистого халцедону) і формування однорідної маси крипто-, мікрокристалічного халцедону; втрата адсорбційної і хімічно зв'язаної води; трансформація ОР, відштовхування трансформованої ОР в пори і тріщини породи.

Сеньковський, Ю. М., Колтун, Ю. В., Григорчук, К. Г. та ін. (2012). *Безкисневі події океану Тетис. Карпато-Чорноморський сегмент*. Київ: Наукова думка.

Popp, I. T., Haiyevska, Y. P., & Bubniak, I. M. (2022). Carbonate and siliceous rock horizons at the boundary of Eocene and Oligocene deposits in the Ukrainian Carpathians as geotourism sites. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 1(2), 363–379. <https://doi.org/10.15421/112234>

УДК 550:551.351.2:5783(477)

# **ВПЛИВ ТРАНСГРЕСИВНО-РЕГРЕСИВНИХ ЦИКЛІВ НА ФАЦІАЛЬНУ МІНЛИВІСТЬ СИЛУРІЙСЬКИХ ВІДКЛАДІВ ПІВДЕННО-ЗАХІДНОГО СХИЛУ СХІДНОЄВРОПЕЙСЬКОЇ ПЛАТФОРМИ**

**Наталія РАДКОВЕЦЬ**

Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, Львів, Україна  
e-mail: radkov\_n@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0002-1770-6996>

## **INFLUENCE OF TRANSGRESSIVE-REGRESSIVE CYCLES ON THE FACIAL VARIABILITY OF SILURIAN STRATA OF THE SOUTHWESTERN SLOPE OF THE EAST EUROPEAN PLATFORM**

**Natalia RADKOVETS**

Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals  
of the NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine

Відклади силуру простягаються вздовж південно-західного схилу Східноєвропейської платформи від Балтійського до Чорного моря. Аналіз закономірностей їх поширення, зміни товщин та петрографічного складу на значній



Схема району досліджень

території від Чорного моря до кордону України з Польщею і Білоруссю та співставлення цих результатів з дослідженнями, які проводились на території Польщі та Литви (Radkovets, 2015), дозволили отримати цілісну характеристику умов осадонагромадження в межах південної шельфової околиці палеоконтиненту Балтики. Нашарування силуру залягають на розмитій під час тривалої регресії поверхні, яка складена породами едіакарію, кембрію і ордовіку. Товщини відкладів силуру закономірно зростають від Українського щита на захід в напрямку зони Тейссейре-Торнквіста, сягаючи понад 1400 м.

Дослідження в межах України проводились на основі опрацювання даних майже всіх існуючих свердловин, які пройшли відклади силуру (42 свердловини), зокрема, кернавого матеріалу, даних геофізичних досліджень, а також вивчення порід у шліфах під мікроскопом. Це дозволило проаналізувати закономірності зміни товщин відкладів силуру, діапазон їх залягання в розрізі, петрографічний склад, побудувати низку літологічних перетинів, скласти карту поширення силурійських відкладів з нанесенням ізопакіт, а також виділити фації. На цій основі були реконструйовані умови осадонагромадження нашарувань силуру в межах південного палеошельфу Балтики та встановлене поширення осадів і розподіл палеофацій.

На основі власних досліджень Волинсько-Подільської плити та Переддобруджинського прогину і співставлення їх із матеріалами досліджень для Румунії та Молдови побудована карта з виділенням фацій для відкладів силуру в межах південно-західного схилу Східноєвропейської платформи (Радковець & Колтун, 2025; Radkovets & Koltun, 2022). Зростання товщини має виразну залежність від фаціальної зональності силурійської товщі. При моноклінальному характері залягання відкладів їх товщина наростає полого до 700 метрів, а далі різко зростає від 800 до понад 1400 м. Стрімке нарощування товщин (800–1400 м) характерне для глибоководної відкрито-шельфової фації, тоді як товщини мілководніших – рифової та лагунної – не перевищують 700 м.

Встановлено, що в різні відрізки силурійського часу (пізній венлок – середній пржидол) рифова фація, у зв'язку з трансгресивно-регресивними циклами, змінювала свої межі, зміщуючись то в бік берегової лінії, то в бік

відкритого моря. З метою кращого відображення природи цієї фації запропоновано дати їй назву «мігруюча рифова фація» (Radkovets, 2015). Регресивно-трансгресивні цикли впродовж силуру контролювали зміну меж відкритошельфової та рифової літофацій. Під час трансгресивного циклу (пізній венлок) відкритошельфова фація значно зміщувалася в бік берегової лінії та збільшувалася площа зони кисневого мінімуму. Зона рифоутворення була мінімальною за шириною і знаходилась в найвіддаленішій прибережній ділянці шельфу, де глибина води не перевищувала 100 м. Впродовж регресивного циклу (лудлов) зона карбонатагромадження (рифоутворення) займала максимальну площу (Радковець & Колтун, 2025). Впродовж венлоку – нижнього пржидолу зона рифонагромадження, залежно від коливань рівня моря, то розширювалася в бік брівки шельфу, то звужувалась в бік берега. Таким чином, впродовж цього часового відтинку в межах мілководної ділянки південного шельфу Балтики існувала зона мігруючого рифоутворення. Положення зовнішньої границі рифу з боку відкритого моря контролювалося зоною кисневого мінімуму в товщі вод. Безкисневе середовище в глибшій частині шельфу (відкритошельфова фація, глибина > 100 м) стало визначальним фактором для нагромадження глинистих темноколірних товщ – так званих граптолітових сланців, збагачених органічною речовиною, поширення яких має глобальний характер (Radkovets et al., 2017).

Протяжність рифу становила близько 2300 км, а максимальна ширина – 150 км. Силурійське рифове пасмо за довжиною та шириною, а також за географічними широтами і температурою водної товщі було аналогічним до сучасного Великого бар'єрного рифу Австралії і його можна назвати «Великим бар'єрним силурійським рифом» (Радковець & Колтун, 2025).

Встановлення меж між похованим бар'єрним рифом та відкладами, збагаченими органічною речовиною, має практичне значення для окреслення перспектив нафтогазоносності регіону.

- Радковець, Н., & Колтун, Ю. (2025). Фаціальна зональність відкладів силуру південно-західного схилу Східноєвропейської платформи та особливості поширення рифової фації на шельфі палеоконтиненту Балтика. *Палеонтологічний збірник*, 57, 6–18. <https://doi.org/10.30970/pal.57.1>
- Radkovets, N. (2015). The Silurian of south-western margin of the East European Platform (Ukraine, Moldova and Romania): lithofacies and palaeoenvironments. *Geological Quarterly*, 59, 105–118. <https://doi.org/10.7306/gq.1211>
- Radkovets, N., & Koltun, Y. (2022). Dynamics of sedimentation within the southwestern slope of the East European Platform in the Silurian-Early Devonian. *Geodynamics*, 32, 36–48. <https://doi.org/10.23939/jgd2022.02.036>
- Radkovets, N., Rauball, J., & Iaremchuk, I. (2017). Silurian black shales of the Western Ukraine: petrography and mineralogy. *Estonian Journal of Earth Sciences*, 66(3), 61–173. <https://doi.org/10.3176/earth.2017.14>

**Геохімія і термобарометрія флюїдів  
мінералорудонафтидоутворювального середовища**

---

УДК 548.4:549 (477)

**РОЛЬ КРИСТАЛОМОРФОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ  
У ВІДТВОРЕННІ НАПРЯМКІВ РУХУ  
ВУГЛЕВОДНЕВМІСНИХ ПАЛЕОФЛЮЇДІВ  
У ПЕРСПЕКТИВНО НАФТОГАЗОНОСНИХ ВІДКЛАДАХ  
(НА ПРИКЛАДІ КВАРЦУ ТИПУ «МАРМАРОСЬКИХ ДІАМАНТІВ»)**

**Олександр ВОВК<sup>1</sup>, Ігор НАУМКО<sup>2,a</sup>, Галина ЗАНКОВИЧ<sup>2,b</sup>**

<sup>1</sup> Волинський національний університет імені Лесі Українки, Луцьк, Україна  
e-mail: geologygeochemistry@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-1509-0905>

<sup>2</sup> Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, Львів, Україна  
<sup>a</sup> e-mail: naumko@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0003-3735-047X>

<sup>b</sup> e-mail: zankovuch@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0003-6634-8042>

**THE ROLE OF CRYSTALLOMORPHOLOGICAL STUDIES  
IN RECONSTRUCTING THE MOVEMENT DIRECTIONS  
OF HYDROCARBON-BEARING PALEOFLUIDS  
IN PERSPECTIVE OIL AND GAS DEPOSITS  
(CASE STUDY OF “MARMAROSH DIAMONDS” TYPE QUARTZ)**

**Oleksandr VOVK<sup>1</sup>, Ihor NAUMKO<sup>2,a</sup>, Halyna ZANKOVYCH<sup>2,b</sup>**

<sup>1</sup> Lesya Ukrainka Volyn National University, Lutsk, Ukraine

<sup>2</sup> Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals  
of the NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine

З огляду на виявлення значного поширення «мармароських діамантів» від часу перших згадок про їхні знахідки у межах Мармароського масиву Карпат (за *Fihtel, 1791; Zipcer, 1817; Tokarski, 1905* та ін.) у флішових відкладах Карпатської покривно-складчастої споруди від крейди до палеогену і неогену (Колодій, 2004), як нового генетичного типу кварцу – скелетних кристалів з включеннями вуглеводнів, вони залишаються у центрі уваги багатьох дослідників як фіксатор хімічного складу і *PT* параметрів еволюції вуглеводневих сполук у процесах мінералонафтидогенезу, індикатор міграційних процесів у нафтогазоперспективних геологічних розрізах, показник безпосереднього зв'язку поширення з нафтогазоносними землями, свідок детальної *PT* історії регіону.

В даному дослідженні увагу сконцентровано на особливостях досконалої морфології цього гірського кристалу особливого типу з урахуванням можливостей відтворення напрямів руху вуглеводневмісних флюїдів у перспективно нафтогазоносних відкладах.

Наші розвідки ґрунтуються на мінералого-генетичному значенні такого унікально важливого елементу кристаломорфології як псевдосиметрія кристалів кварцу, насамперед «мармароських діамантів», окресленому у (Вовк та ін., 2025).

Численними попередніми й авторськими дослідженнями виявлено, що обрис кристалів «мармароських діамантів» ізометричний або короткостовпчастий, значно рідше – стовпчастий. Усі індивіди двоголові. Габітус кристалів призматично-ромбоєдричний. Виділяють кілька типів: псевдокубічний, гексагонально-дипірамідальний, гексагонально-призматичний (короткопризматичний і призматичний), тригонально-призматичний (короткопризматичний і призматичний). Усі досліджені власне нами кристали мають типовий для «мармароських діамантів» Українських Карпат короткопризматичний габітус, так само, як і «мармароських діамантів» Словачьких Карпат (Vovk et al., 2022).

Аналіз наведених даних вказує на кристаломорфологічну подібність досліджених багатогранників «мармароських діамантів», незважаючи на розмаїтість теренів поширення (Україна, Словаччина, Польща). Стабільність зовнішньої форми (головно, ізометричний або короткостовпчастий обрис і короткопризматичний габітус та незначні морфологічні відмінності кристалів) свідчить про стійкість параметрів формування при постійному припливі мігрувальних вуглеводневмісних флюїдів і рівномірному надходженні речовини до всіх граней кристала. Високосиметричні кристали утворювалися за умов хаотичного обертання кристала у середовищі з симетрією кулі або нерухомого циліндра, коли вісь нескінченного порядку середовища збігається з віссю з  $L_3$  кварцу. Кристали, сплюснені по ромбоєдру, росли за умов двосторонньої плівки із симетрією циліндра, причому вісь нескінченного порядку середовища збігалася з  $L_2$  у кристалі, тому симетрія індивідів моноклінна. Клиноподібні кристали з симетрією  $P$  і псевдоромбічні індивіди, сплюснені по  $\{10\bar{1}0\}$ , росли за близьких умов. Гранню призми вони були прикріплені до стінки тріщини у породі, однак симетрія середовища була нижча. Характерна односторонність напрямку руху флюїдів: від розвинутішої головки до менш розвинutoї. Псевдотриклінність кристалів вказує на те, що симетрія середовища не була максимальною або вони росли косо до напрямів міграції мінералоутворювальних флюїдів.

До характерних елементів симетрії, які проявляються залежно від умов утворення, належать вісь  $L_3$ , осі  $L_2$ , псевдовісь  $L_6$ , псевдоосі  $L_2$ , псевдоплощини. Загалом кристали можуть рости у завислому стані, в умовах однорідної двосторонньої або односторонньої плівки, прикріплені до дна або до стінки породи. Середовище може бути умовно нерухомим, рухатись поступально і/або обертатись. Те саме стосується багатогранників. Можливі різні види симетрії середовища і кристала, орієнтація яких може збігатися або відрізнятися. Для всіх імовірних випадків виявлено всі вказані вище теоретично можливі види псевдосиметрії кварцу. Кожному виду відповідає одна або кілька ситуацій мінералоутворення. Розглянуто всі теоретично можливі ситуації і всі типи псевдосиметрії, які їм відповідають. Наголошено, що велика кількість гексагонально-дипірамідальних і гексагонально-короткопризматичних кристалів «мармароських діамантів» із Кросненської зони Українських Карпат (район нового Бескидського тунелю) свідчить про їхнє утворення на ранніх стадіях мінералоутворення шляхом обертання у високосиметричному середовищі. Особливо цінними є багатогранники із симетрією  $P$ , позаяк вони надають можливість не лише відтворити симетрію середовища, а й часто напрямок руху мінералоутворювальних флюїдів. У підсумку, оскільки

за зовнішньою формою багатогранника можна відтворити параметри середовища, то, ґрунтуючись на загальнотеоретичних передумовах і міркуваннях, розглянуто зв'язок симетрії реальних багатогранників кварцу із симетрією флюїдного середовища і його еволюцією та напрямками руху мінералоутворювальних флюїдів, конкретні визначальні елементи якого показано на основі, головню, авторських даних з морфології «мармароських діамантів».

Виявлені кристаломорфологічні ознаки взаємодії симетрії кристалів «мармароських діамантів» і симетрії середовища набувають вагомого додаткового діагностичного і генетичного значення з урахуванням відтворення напрямів руху вуглеводневмісних флюїдів і наповнення ними пасток вуглеводнів у перспективно нафтогазоносних відкладах. Їхні результати вдало розвивають і доповнюють базу даних з непрямих методів прогнозування у пошуків наявності покладів вуглеводнів у Карпатській нафтогазоносній провінції.

Вовк, О. П., Наумко, І. М., & Занкович, Г. О. (2025). Псевдосиметрія кристалів кварцу та її мінералого-генетичне значення. *Мінералогічний журнал*, 47(1), 33–44. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.47.01.033>

Колодій, В. В. (Відп. ред.). (2004). *Карпатська нафтогазоносна провінція*. Львів; Київ: Український видавничий центр.

Vovk, O., Naumko, I., Zankovych, H., & Kuzemko, Ya. (2022). Comparison of morphology of quartz crystals – “Marmarosh diamonds” – from Paleogene Flysch sequences of Krosno (Silesian) Zone, Dukla Zone in Ukrainian Carpathians, and Intra-Carpathian sequences of Western Carpathians. *Mineralia Slovaca*, 54(2), 163–174. <https://doi.org/10.56623/ms.2022.54.2.3>

УДК 550.4:552.53+550.4.08:553.2

## **УЛЬТРАМІКРОХІМІЧНИЙ МЕТОД УКРАЇНСЬКОЇ НАУКОВОЇ СОЛЯНОЇ ТЕРМОБАРОГЕОХІМІЧНОЇ ШКОЛИ: ДИНАМІЧНИЙ РОЗВИТОК**

**Анатолій ГАЛАМАЙ<sup>а</sup>, Дарія СИДОР<sup>б</sup>**

Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, Львів, Україна

<sup>а</sup> e-mail: galamaytolik@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0003-4864-6401>

<sup>б</sup> e-mail: dariyasidor@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0007-5704-3748>

## **ULTRAMICROCHEMICAL METHOD OF THE UKRAINIAN SCIENTIFIC SALT THERMOBAROGEOCHEMISTRY SCHOOL: DYNAMIC EVOLUTION**

**Anatoliy GALAMAY<sup>а</sup>, Dariya SYDOR<sup>б</sup>**

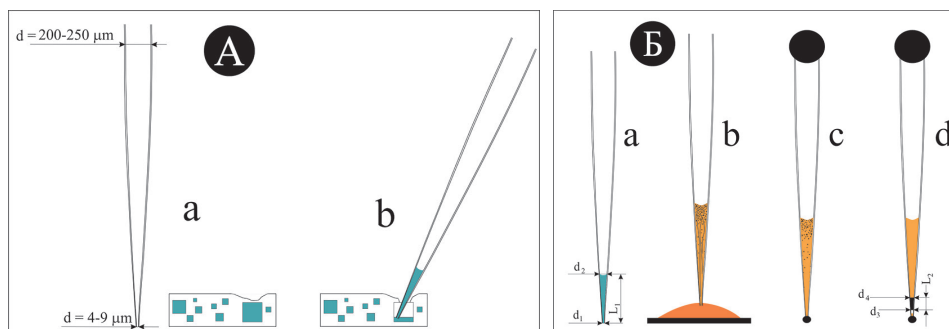
Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals  
of the NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine

Заснування української наукової термобарогеохімічної школи в галузі геохімії галогенезу в ІГГК НАН України припадає на кінець 60-х років ХХ століття, коли для подальшого розвитку традиційного фізико-хімічного вивчення соленосних басейнів гостро постала потреба у залученні додаткових прямих палеогідрохімічних критеріїв пошуку та розвідки родовищ солей.

Оригінальність концепції вивчення евапоритових формацій, задекларована колективом термобарогеохімічної школи під керівництвом видатного геолога і геохіміка, д. г.-м. н., проф. О. Й. Петриченка, полягала у принциповій зміні вектора геохімічних досліджень – переході від моделювання ходу галогенезу за фазовими діаграмами розчинності сольових систем до безпосереднього аналізу розсолів флюїдних включень у соляних кристалах ультрамікрохімічним (УМХА) методом (Петриченко, 1973). Флюїдні включення є природними мікрокапсулами, що надійно герметизують краплини розсолів в процесі росту кристалів. Прямий аналіз таких краплин за допомогою УМХА дозволяє реконструювати палеоседиментаційні фізико-хімічні умови в солеродних басейнах і постседиментаційні – в осадових товщах. Унікальність та інноваційність методу полягає у здатності оперувати об'ємами розчинів, що на один-два порядки (до  $0,0003 \text{ мм}^3$ ) менші за описані у літературі (Бенедетти-Пихлер, 1951; Коренман, 1967). В 1970–1980-х роках термобарогеохімічна школа Інституту утримувала абсолютний світовий пріоритет у вивченні розсолів флюїдних включень у солях. Іноземні науковці розробили подібні мікрометодики значно пізніше – наприкінці XX століття, трансформувавши її у технологічніші, але дорожчі та трудомісткіші інструментальні методи: Extraction-IC (мікроекстракції з іонною хроматографією), LA-ICP-MS (лазерної абляції з мас-спектрометрією) та Cryo-SEM-EDS (кріо-сколу з рентгеновським аналізом). В основі цих сучасних західних методів лежала та сама концептуальна ідея прямого аналізу мікрокраплин розсолу, яку першим детально розробив та впровадив у практику проф. О. Й. Петриченко.

Метод УМХА базується на принципі кількісного визначення іонів у розчинах за об'ємом осаду солей цих іонів, утворених внаслідок взаємодії з відповідними реагентами. Усі методичні операції проводяться під оптичним мікроскопом: соляний кристал розчиняється тонким струменем води над вибраним флюїдним включенням (відстань до включення повинна становити не більше 10–20 мкм); поверхня галіту висушується і ламається тонкою сталевною голкою; розсіл із включення екстрагується капіляром, який представляє собою скляну трубку ( $d \approx 200\text{--}250 \text{ мкм}$ ) із конусоподібним закінченням ( $d \approx 4\text{--}9 \text{ мкм}$ ); визначається об'єм набраного розсолу; у капіляр вводиться відповідний хімічний реактив і його кінці запаюються; після 15-хвилинного обертання капіляра у центрифугі (8000 об/хв), визначається об'єм отриманого осаду (рисунок). З відношення об'єму осаду до об'єму розсолу визначається коефіцієнт, за допомогою якого розраховується вміст іону в розсолі.

Метод не залишається статичним у своєму первинному інструментально-методичному виконанні, він має тривалий та динамічний розвиток. Похибки, які призводили до варіювання результатів аналізів, виникали насамперед через недостатню точність визначення об'єму набраного в капіляр розчину та неоднорідність отриманого осаду. При одноразовому визначенні іона вони становили 21–43 %. Учні та послідовники проф. О. Й. Петриченка здійснили оптимізацію та вдосконалення окремих методичних операцій УМХА. На сучасному етапі еволюція методу полягає у наступних ключових удосконаленнях: стандартизуванні виготовлення капілярів та повторному ущільненні пухкого чи дискретного осаду.



#### Основні операції методу УМХА:

А – розмив поверхні галіту та екстракція розсолу: *a* – розмив галіту над обраним включенням; *b* – екстракція розсолу скляним капіляром; Б – заміри: *a* – визначення об'єму розсолу; *b* – забір певного реактиву для переведення відповідного іону з розсолу в осад; *c* – запаювання капіляра; *d* – визначення об'єму осаду

Стандартизування виготовлення капілярів передбачає їх прецизійне термомпластичне витягування зі скляних заготовок для створення уніфікованих форм із диференційованим профілем внутрішнього каналу і каліброваним входним отвором (від 4 до 9 мкм) з огляду на різний гідрохімічний тип досліджуваних розсолів і розмір включень. Профіль капілярів дозволяє оптимізувати параметри реакційної зони для отримання однорідної дрібнозернистої фази. Повторне ущільнення пухкого чи дискретного осаду в капілярі передбачає створення спрямованого термічного градієнта від вузького його кінця до широкого, що забезпечує руйнацію розсолом фрагментованих фаз осаду, які після наступного центрифугування капіляру збиваються у щільний осад. Завдяки цим удосконаленням досягнуто зниження похибки одноразового визначення кожного з іонів більш ніж удвічі – до 10–16 %. Унаслідок експресності, підвищення точності та можливості аналізу розсолів наперед визначених включень, вдосконалий вітчизняний метод УМХА успішно конкурує з високовартісними іноземними цифровими аналогами. Він залишається дієвим інструментом для глобальних палеоокеанографічних реконструкцій, прогнозування покладів солей різного хімічного складу та оцінки нафтогазоперспективності осадових басейнів. Безперервність наукових поколінь у відділі геохімії осадових товщ нафтогазоносних провінцій Інституту геології і геохімії горючих копалин НАН України забезпечує не лише збереження, а й постійне розширення меж застосування цієї унікальної методики дослідження евапоритів, яка є визначним національним науковим надбанням.

Бенедетти-Пихлер, А. А. (1951). *Техника неорганического микроанализа*. Москва: Иниздат.

Коренман, И. М. (1967). *Аналитическая химия малых концентраций*. Москва: Химия.

Петриченко, О. Й. (1973). *Методи дослідження включень у мінералах галогенних порід*. Київ: Наукова думка.

**ІГТГК НАН УКРАЇНИ – КОЛИСКА ВЧЕННЯ  
ПРО МІНЕРАЛОУТВОРЮВАЛЬНІ ФЛЮЇДИ**

**Ганна КУЛЬЧИЦЬКА**

Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М. П. Семененка  
НАН України, Київ, Україна  
e-mail: kulchechanna@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-7206-4797>

**INSTITUTE OF GEOLOGY AND GEOCHEMISTRY  
OF COMBUSTIBLE MINERALS OF THE NAS OF UKRAINE  
IS THE CRADLE OF THE STUDY OF MINERAL-FORMING FLUIDS**

**Hanna KULCHYTSKA**

M. P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation  
of the NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Середина минулого сторіччя відзначилась інтенсивними дослідженнями газОВО-рідких включень у мінералах, що завершилось виникненням нової науки, відомої для широкого загалу як термобарогеохімія (Матковський та ін., 2021). Зародження науки пов'язують з іменем Миколи Єрмакова, на той час доцента Львівського державного університету імені Івана Франка. Його книга «Исследование минералообразующих растворов (температуры и агрегатное состояние)» (1950), що отримала державну нагороду, спричинила широкий інтерес і скоро стала підручним посібником для початківців, що зацікавилися способом визначення температурних умов утворення мінералів. Лише температурних, тому це ще була не наука, радше ще один із методів мінералогічної науки, який на перших порах так і називали – термометрія за включеннями у мінералах або мінералотермометрія.

Перетворення методу дослідження мінералів у самостійну науку нерозривно пов'язане з іменем Володимира Антоновича Калюжного і учнями його школи. Формальний учень М. Єрмакова, Володимир Калюжний пішов далі свого вчителя. Вже в першій своїй монографії (Калюжний, 1960) показав, що рідкі компоненти мінералоутворювального середовища (флюїди) – це складна фізико-хімічна система, поведінка якої під час нагрівання зумовлена багатьма чинниками. Від того, наскільки точно дослідник встановить властивості цієї системи, залежить достовірність отриманих результатів і реконструкціювання умов мінералоутворення. В умовах дефіциту аналітичних приладів для дослідження включень, вчений проявив неабияку винахідливість, у прямому і переносному значенні, щоб отримати хімічні характеристики законсервованих флюїдів. Склад газової фази і сольових компонентів флюїдів, їхні кислотно-окиснювальні характеристики отримані шляхом винахідливих пристосувань існуючого обладнання, не залишаючи поза увагою точність вимірювання. Це стосувалося і точності визначення температури гомогенізації (створив термокамеру власної конструкції) і грамотного вибору об'єкта гомогенізації (включення первинні, первинно-вторинні, вторинні, перенаповнені, розтріскані, гомогенного і гетерогенного захоплення тощо). Це вже була основа нової науки, підсумованої в наступній монографії (Калюжний, 1982).



Біля колиски вчення про мінералоутворювальні флюїди (1965 р.). Завідувач відділу Володимир Калюжний (стоїть) та його учні (зліва направо): Григорій Гнатів, Богдан Ремешило, Дмитро Возняк, Зенон Ковалишин, Богдан Заціха, Георгій Гігашвілі

Попри численні назви, які давали новій науці в колишньому СРСР: «мінералогічна термометрія», «мінералотермометрія і барометрія», «учення про мінералоутворювальне середовище», «вчення про флюїдні включення у мінералах», «мінералофлюїдологія», «термодинамічна геохімія», «термобарогеохімія», найвідповіднішою назвою вчений вважав «учення про мінералоутворювальні флюїди».

Майже три десятиліття (1960–1988 рр.) В. Калюжний очолював відділ геохімії глибинних флюїдів в Інституті геології і геохімії горючих копалин (ІГГГК) НАН України (сучасна назва). Відділ привабив багато талановитої молоді (рисунок), результати досліджень яких незабаром заповнили сторінки мінералогічних видань на просторах колишнього СРСР, найбільше – на сторінках «Мінералогічного збірника». Окрім зображених на фото, учнями його школи стали Мирослав Братусь, Олена Лазаренко, Ігор Зінчук, Ігор Наумко, Йосип Сворень та ще багато-багато інших. На рахунку вчителя два доктори й 11 кандидатів наук (Братусь та ін., 2022). Одні з них продовжили справу вчителя у стінах ІГГГК, навіть змінили його на посту завідувача, інші роз'їхалися по Україні і створили свої школи. Найвідоміша з них – школа доктора геологічних наук Дмитра Возняка, створена в Інституті геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М. П. Семененка НАН України (сучасна назва). У відділі В. Калюжного, співробітники якого тривалий час досліджували процеси пегматитоутворення, зародився новий напрям — вивчення умов мінералоутворення в евапоритових басейнах (школа Олега Петриченка). Менш успішним, через об'єктивні причини, став напрям, пов'язаний з утворенням родовищ сірки. Початок дослідження включень законсервованих розплавів, пізніше ширше розвинутий Д. Возняком, також належить співробітникам відділу. Включення метану та інших вуглеводнів, що були виявлені у мінералах, наблизили дослідження співробітників до глобальної тематики ІГГГК.

Отже, вчення про мінералоутворювальні флюїди не лише зароджене, воно виплекане в ІГГГК і належить до тих здобутків, що принесли всесвітню славу науковій установі, яка відзначає цього року своє 75-річчя.

- Братусь, М., Зінчук, І., Наумко, І., & Сворень, Й. (2022). До сторіччя від дня народження Володимира Антоновича Калюжного. *Мінералогічний збірник*, 72, 124–131.
- Калюжний, В. А. (1960). *Методи вивчення багатозаповнених включень у мінералах*. Київ: Видавництво АН УРСР.
- Калюжний, В. А. (1982). *Основы учения о минералообразующих флюидах*. Киев: Наукова думка.
- Матковський, О., Наумко, І., Павлунь, М., & Сливко, Є. (2021). *Термобарогеохімія в Україні*. Львів: Простір-М.

УДК 548.4:549 (477)

**МІНЕРАЛОФЛЮІДОЛОГІЯ  
ПРОФЕСОРА ВОЛОДИМИРА КАЛЮЖНОГО –  
ФУНДАМЕНТАЛЬНА НАУКА ПРО ВКЛЮЧЕННЯ У МІНЕРАЛАХ:  
СТАНОВЛЕННЯ І РОЗВИТОК, СЬОГОДЕННЯ, МАЙБУТТЯ**

**Ігор НАУМКО**

Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, Львів, Україна  
e-mail: naumko@ukr.net, igggk@mail.lviv.ua; <https://orcid.org/0000-0003-3735-047X>

**PROFESSOR VOLODYMYR KALYUZHNY'S MINERALFLUIDOLOGY –  
FUNDAMENTAL SCIENCE ON INCLUSIONS IN MINERALS:  
FORMATION AND DEVELOPMENT, PRESENT, FUTURE**

**Ihor NAUMKO**

Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals  
of the NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine

В Інституті геології і геохімії горючих копалин НАН України за 75-річну історію від заснування отримала потужний розвиток низка фундаментальних наук про Землю, зокрема вчення про мінералоутворювальні флюїди. Професора Володимира Калюжного справедливо вважають одним із засновників цієї науки, яку фактично відліковують від праці Н. С. Sorby “On the Microscopic, Structure of Crystals, Indicating the Origin of Minerals and Rocks” (1858), хоча включення у мінералах були знайомі ще природодослідникам-енциклопедистам, і яку він обґрунтовано назвав «мінералофлюїдологія», наголошуючи на її особливому об’єкті – мікрровключеннях флюїдів у кристалах – та особливих завданнях – розкриття динаміки існування умов середовища мінералоутворення (Kalyuzhnyi, 1985a, 1985b, 1988), на відміну від багатьох інших назв, зокрема й такої, загальноновживаної тепер, як «термобарогеохімія» (Микола Єрмаков), а також «fluid inclusions» (Edwin Roedder).

Знаковою подією у становленні й розвитку термобарогеохімії–мінералофлюїдології в Інституті геології і геохімії горючих копалин (ІГГГК) НАН України став перехід Володимира Калюжного 1955 р. до Інституту. Ось як про здібного науковця відгукувався тоді професор Микола Єрмаков: «Автор користується нагодою висловити глибоку вдячність своїм учням і помічникам по лабораторії – геологам Р. Ф. Сухорському та В. А. Калюжному, які в 1949 році надали істотну допомогу у проведенні експериментів» (1950 р.) (*переклад – наш*). Саме цьому завдячуємо формуванню в Інституті такого

фундаментального наукового напрямку як «Геохімія і термобарометрія флюїдів мінералоутворювального середовища».

Кандидатську дисертацію на тему «Многофазовые включения в минералах (методы изучения состава и отдельные вопросы применения)» (1955) підготував, ще працюючи у Львівському університеті (1950–1955 рр.). В Інституті за підтримки академіків Володимира Соболева та Євгена Лазаренка учений виріс до завідувача відділу і головного наукового співробітника, захистив докторську дисертацію на тему «Динамика минералогенеза на основе изучения минералообразующих флюидов (гранитные занорышевые пегматиты и рудоносные гидротермалиты Украины)» (1979 р.), отримав учене звання професора (1984 р.). Академік Григорій Доленко, директор Інституту, цілеспрямовано ставив завдання щодо ідентифікації вуглеводнів у флюїдних включеннях у мінералах з метою залучення даних до вирішення фундаментальних проблем і прикладних завдань нафтогазової геології і геохімії.

У межах окреслених завдань, на основі кристалогенетичних і фізико-хімічних принципів, Володимир Калюжний зосередився на розробці теоретико-методичних засад мінералофлюїдології та створенні наукової школи з геохімії і термобарометрії флюїдів мінералоутворювального середовища (Kalyuzhnyi, 1985a, 1985b, 1988; Наумко & Калюжний, 2001; Наумко & Телепко, 2002). До найважливіших теоретичних напрацювань належить розробка нових діаграм стану фізико-хімічних систем (графо-аналітичний метод переходу в координатах VTX від звичайної фізико-хімічної макросистеми до її частин – мікросистем-включень, нова наближена VTX-діаграма системи  $H_2O-NaCl$  з можливостями застосування як для інтерпретації даних мінералофлюїдології, так і інших галузей геохімії і фізичної хімії тощо); до експериментальних – відтворення особливостей кипіння (гетерогенізації флюїду) в природних порожнинах-кристалізаторах; до методичних – розробка нових методик і методичних прийомів, наприклад, для кількісного аналізу газів флюїдних включень мікронного розміру і летких речовин з вакансій кристалічної ґратки мінералів, з допомогою яких виявлено дійсні джерела водню, чим зроблено значний внесок у вирішення проблеми його геохімії в геологічних процесах. Перелічені та інші питання детально обговорено в одноосібних монографіях «Методи вивчення багатофазових включень у мінералах» (1960) та «Основы учения о минералообразующих флюидах» (1982).

Систематизація викладених положень стала основою для обґрунтування можливостей флюїдних включень щодо виявлення геохімічних і термобаричних характеристик, джерел, закономірностей формування та геохімічної спеціалізації флюїдів, що дозволило відтворити динаміку й еволюцію процесів дефлюїдизації літосфери, мантійного і корового петрогенезу, формування корисних копалин, а також створити моделі еволюції фізико-хімічних умов утворення магматичних порід, кришталеносних, рідкіснометалевих і кварц-польовошпатових пегматитів, різного походження метасоматитів, золоторудних, поліметалевих і рідкіснометалевих гідротермальних родовищ, зокрема й «мармароських діамантів» як нового генетичного типу кварцу – скелетних кристалів із включеннями вуглеводнів. Отримані вагомі здобутки відзначено присудженням Володимирі Калюжному Державної премії УРСР в галузі науки і техніки (1983), Міжнародної золотої медалі імені видатного

англійського дослідника флюїдних включень Г. К. Сорбі (у числі трьох перших учених світу, 1993), Державної стипендії видатним діячам науки України (1998). Неоціненним є внесок ученого й у термобарогеохімію евапоритів як у новий інформативний науковий напрям.

Мінералофлюїдологія професора Володимира Калюжного й донині не втратила визначальних вихідних позицій, застосовуваних при дослідженні родовищ корисних копалин, а саме: вивчати геологічні процеси «з мірою і числом» (Микола Єрмаков) згідно з напуттями засновників Львівської мінералого-геохімічної школи Володимира Соболева і Євгена Лазаренка, які одними із перших далекоглядно оцінили значення включень флюїдів для визначення об'єктивних параметрів і критеріїв пізнання процесів мінералоутворення. Отримані відомості учені застосували у створених ними геохімічній киснево-водневій (гідридно-карбідній) (Микола Семененко) і мінералогічній (Євген Лазаренко) моделях Землі. Вони сприяють формуванню основ термобарогеохімічної-мінералофлюїдологічної моделі планети. Нова галузь геологічних знань розвивалася і досягла апогею в середині 1980-х років у «золотий вік» мінералогії (за Орестом Матковським). Незважаючи на те, що її стрімкий розвиток нині стримується низкою об'єктивних і суб'єктивних причин, означені засадничі підходи мінералофлюїдологічної школи професора Володимира Калюжного зберегли актуальність і їх вдало зреалізовано у монографії «Термобарогеохімія в Україні» (2021), в якій на підставі виконаного узагальнення показано колосальні можливості та напрямки застосування фундаментальної науки про включення у мінералах в прогнозі природної флюїдонасиченості і оцінюванні потенціалу надр на корисні копалини.

Наумко, І. М., & Калюжний, В. А. (2001). Підсумки та перспективи досліджень термобарометрії і геохімії палеофлюїдів літосфери (за включеннями у мінералах). *Геологія і геохімія горючих копалин*, 2, 162–175.

Наумко, І. М., & Телепко, Л. Ф. (Уклад.). (2002). *Володимир Антонович Калюжний. До 80-річчя від дня народження*. Львів: ІГГК НАН України та НАК «Нафтогаз України».

Kalyuzhnyi, V. A. (1985a). Principles of knowledge about mineral-forming fluids. *Fluid Inclusion Research: Proceedings of COFFI*, 15, 289–333.

Kalyuzhnyi, V. A. (1985b). Principles of knowledge about mineral-forming fluids. *Fluid Inclusion Research: Proceedings of COFFI*, 16, 306–320.

Kalyuzhnyi, V. A. (1988). Principles of knowledge about mineral-forming fluids. *Fluid Inclusion Research: Proceedings of COFFI*, 20, 428–534.

**ВКЛЮЧЕННЯ У МІНЕРАЛАХ ТА ФЛЮЇДНИЙ ТИСК  
ПРОЦЕСІВ ГЛИБИННОГО МІНЕРАЛОГЕНЕЗУ  
У БАЗАЛЬТОЇДНИХ МАГМАТИЧНИХ СИСТЕМАХ**

**Ігор НАУМКО<sup>a</sup>, Мирослав БРАТУСЬ<sup>b</sup>, Ігор ЗІНЧУК<sup>c</sup>, Лариса РЕДЬКО<sup>d</sup>**

Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, Львів, Україна

<sup>a</sup> naumko@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0003-3735-047X>

<sup>b</sup> mdratus@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0001-9319-1103>

<sup>c</sup> ig.zinchuk@ukr.net; <https://orcid.org/0009-0008-0647-4975>

<sup>d</sup> redles@ukr.net; <https://orcid.org/0009-0009-8864-353X>

**INCLUSIONS IN MINERALS AND FLUID PRESSURE  
OF DEEP MINERALOGENESIS PROCESSES  
IN BASALTOID MAGMATIC SYSTEMS**

**Ihor NAUMKO<sup>a</sup>, Myroslav BRATUS<sup>b</sup>, Ihor ZINCHUK<sup>c</sup>, Larysa REDKO<sup>d</sup>**

Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals  
of the NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine

Прямі методи вимірювання тиску в глибинних геосферах Землі застосувати практично неможливо. За умови геостатичного режиму, коли тиск зумовлюється лише силами гравітації і який вважають умовним геостатичним (літостатичним) тиском порід, його величину розраховують, виходячи з середньої густини 2,4–2,8 г/см<sup>3</sup> порід літосфери. Реальна динаміка тиску базальтоїдного розплаву в процесі поетапного підняття його у верхні горизонти земної кори визначається ретроградним кипінням (гетерогенізацією) з відокремленням газової фази. Власне захоплення включеннями у мінералах розплаву разом чи окремо з динамічно рівноважною газовою фазою CO<sub>2</sub> чи N<sub>2</sub> дає можливість розрахувати тиск у період кристалізації.

Базальтоїдний розплав за густиною близький до густини порід літосфери (2,6 г/см<sup>3</sup>), а його проникнення в літосферу відбувається по ослаблених зонах (розломах) до глибини, де Р<sub>фл</sub> (магматичний розплав) зрівноважується з Р<sub>ліс</sub> (літостатичне навантаження), або досягає поверхні (вулкани). Захоплені включення: розплав+газ дають змогу прослідкувати еволюцію температури і тиску, порядок кристалізації окремих мінералів та, відповідно, їхню глибину у магматичній колоні за передумови, що  $d_{розпл} = d_{породи}$  і Р<sub>фл</sub> (розпл) = Р<sub>літ</sub> згідно з формулою (Вуд & Вальтер, 1989):  $h \text{ (км)} = R_{фл} / \Delta R_{літ}$ , де  $h$  – глибина кристалізації мінералу, км, Р<sub>фл</sub> – тиск, визначений за включенням у мінералі,  $\Delta R_{літ}$  – градієнт літостатичного тиску (28 МПа/км).

Аналізом термобаричних умов кристалізації мінералів у базальтоїдних магмах (за флюїдними включеннями) на прикладі конкретних геологічних об'єктів (Братусь та ін., 2026) доведено теоретичну і практичну важливість отриманих результатів з точки зору еволюції флюїдного тиску і співмірності його з глибиною кристалізації мінералів.

Зокрема, кристалізація моноклінного піроксену в лужних базальтоїдах Далекого Сходу за первинними включеннями з  $T_{гом} = 1300$  °С відбувалася за тиску 1120–1050 МПа на глибинах 40–37 км в умовах ретроградного кипіння (дегазації) магматичного розплаву.

З лужними базальтоїдами гір Нуратау і Гіссарського хребта (Середня Азія) пов'язані трубки вибуху (Братусь та ін., 1994). Виміряний у вторинних включеннях тиск в олівіні складає 1280, 1080 і 820 МПа (глибини 44, 37 і 30 км). Авгіт, клінопіроксен, гранати кристалізувалися на менших глибинах за дещо вищих температур. За первинними включеннями кристалізація гранату відбувалася на різних глибинах, що засвідчує багатоетапність зародження кристалів.

В ортопіроксені із ксеноліту лерцоліту з лужних базальтоїдів четвертинного вулкана (Західна Німеччина) тиск у первинних включеннях розраховували за температури 1350 °С, а в інших – за 1200 °С. За первинними включеннями кристалізація відбувалася на глибинах 38–34 км (1100–980 МПа). Розгерметизованим включенням відповідають флюїдні тиски на глибинах 28–17 км (800–580 МПа), вторинним включенням – 16–14 км (500–400 МПа). Розгерметизація включень в ортопіроксені зумовлена, найімовірніше, різким підйомом магматичного розплаву у верхні горизонти та, відповідно, різким спадом зовнішнього тиску на розплав і включеннями в раніше викристалізованому ортопіроксені. Кристалізація одного і того самого мінералу при різних тисках свідчить про різну глибинність проміжних магматичних осередків їхнього зародження і відбувається за постійної температури незалежно від глибини.

У склах загартування толеїтових базальтів океанічних підводних вивержень з різних точок і глибин Атлантичного, Індійського океанів і Червоного моря індивідуальні пухирі-включення містять за незначними винятками лише  $\text{CO}_2$ , а внутрішній тиск за 600 °С досягає 40 МПа, що відповідає тискові, створеному стовпом води на дні океану під час виверження лави (Братусь та ін., 1994). За включеннями рідкого діоксиду вуглецю, виходячи з густини  $\text{CO}_2$  0,34 і 0,36 г/см<sup>3</sup> (Тгом у газову фазу +30,2 і +30,8 °С) і можливої температури розплаву 1100–1250 °С (Тгом включень), тиск у середовищі кристалізації олівіну відповідає 120–140 МПа, що можливо на глибині нижче дна (враховуючи тиск морської води) на 2,5–3,0 км (Братусь та ін., 1994).

Унікальні дані отримано за включеннями у мінералах трубок вибуху (Якутія), андезито-базальтів о. Ітуруп (Курильські острови), андезитів вулкана Шивелуч та плагіобазальтів вулкана Штіубеля (Камчатка), базальтів Судетських гір (Польща) (Жовтуля та ін., 1980). Зокрема, знахідка рідкої фази  $\text{CO}_2$  в олівіні з нодуль судетських базальтів вказує на їхнє глибинне походження. Вперше діоксид вуглецю в олівінових нодулях базальтів о. Гаваї виявив Е. Реддер (Roedder, 1965), зафіксувавши згодом такі включення високої густини у 72 районах світу (Roedder, 1984). На його думку,  $\text{CO}_2$ , який перебував у розплаві у вигляді надкритичного флюїду (з максимальною густиною 0,89–1,16 г/см<sup>3</sup>), утворився в мантії. Розрахований ним тиск у нодулях за температури 1200 °С на глибині 8–16 км повинен перебувати у межах 250–500 МПа, а у фенокристалах — близько 60 МПа, і це – мінімальні величини.

Узагальнення даних щодо флюїдних включень у базальтоїдних системах свідчить, що підйом магми ослабленими зонами є багатоетапним. На кожному рівні дегазація і кристалізація супроводжуються ростом мінералів, які захоплюють у включення флюїд (газ, розплав чи разом). Кристалізація на проміжних глибинах зумовлює поступове зменшення густини системи (і газу, і розплаву). Дані термобарометрії свідчать, що дегазація розпочинається

в низах земної кори (40–45 км), водночас на кожному етапі флюїдний тиск у включеннях співмірний із літостатичним.

Для порівняння наведемо значення тисків високотермобаричних CO<sub>2</sub>-флюїдів у різних типах кристалічних порід Українського щита, які виявились також досить високими (Возняк, 2024), зокрема, при формуванні родовищ золота (Майське:  $\geq 820 \pm 120$  МПа при  $\geq 1112 \pm 7$  °C), літію (Полохівське: 410 МПа при 680 °C; Надія: 540–860 МПа при 1000–1200 °C), U-Th-REE (рудопрояв Діброва: від  $\geq 220$ –240 МПа при  $\geq 400$ –420 °C до  $\geq 720$ –760 МПа при  $\geq 1000$ –1100 °C).

Генетична і прикладна значущість надвисоких флюїдних тисків полягає в їхній здатності ініціювати об'ємне тріщиноутворення, що створює простір для рудоносних розчинів. Саме градієнт тиску визначає інтенсивність міграції компонентів, масштаби метасоматичних перетворень і, зрештою, локалізацію промислового зруденіння в ослаблених зонах земної кори.

Братусь, М. Д., Давиденко, М. М., Зінчук, І. М., Калюжний, В. А., Матвієнко, О. Д., Наумко, І. М., Пірожик, Н. Е., Редько, Л. Р., & Сворень, Й. М. (1994). *Флюїдний режим мінералоутворення в літосфері (в зв'язку з прогнозуванням корисних копалин)*. Київ: Наукова думка.

Возняк, Д. К. (2024). *Атлас флюїдних включень у деяких мінералах України*. Київ: Академперіодика. <https://doi.org/10.15407/akademperiodyka.506.092>

Roedder, E. (1984). *Fluid inclusions. Reviews in Mineralogy (Vol. 12)*. Virginia: Mineralogical Society of America.

УДК 553.21

## **НЕОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ ІНТЕРПРЕТАЦІЇ ТЕРМОБАРОГЕОХІМІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ФЛЮІДНИХ ВКЛЮЧЕНЬ В МІНЕРАЛАХ ГІДРОТЕРМАЛІТІВ ЧИВЧИНСЬКОГО РУДНОГО РАЙОНУ УКРАЇНСЬКИХ КАРПАТ**

**Микола ПАВЛУНЬ<sup>a</sup>, Валентина МАРУСЯК<sup>b</sup>**

Львівський національний університет імені Івана Франка, Львів, Україна

<sup>a</sup> e-mail: mykola.pavlun@lnu.edu.ua; <https://orcid.org/0000-0002-8634-6576>

<sup>b</sup> e-mail: valentya.marusyak@lnu.edu.ua; <https://orcid.org/0009-0002-3156-9606>

## **UNEXPECTED RESULTS OF THE INTERPRETATION OF THERMOBAROGEOCHEMICAL STUDIES OF FLUID INCLUSIONS IN HYDROTHERMALITE MINERALS FROM THE CHYVCHYNY ORE DISTRICT, UKRAINIAN CARPATHIANS**

**Mykola PAVLUN<sup>a</sup>, Valentyna MARUSIAK<sup>b</sup>**

Ivan Franko National University of Lviv, Lviv, Ukraine

При термобарогеохімічних дослідженнях гідротермалітів Чивчинського рудного району – прояви Добрин, Альбин, Мокрин, Попадинець, Лостун та інші – виявили одно-, дво-, трифазові флюїдні включення, які мають надзвичайно дрібний розмір вакуолей, що дуже ускладнило їхнє вивчення. Однофазові рідинні включення свідчать про тепловодний характер формування

кварц-карбонатних мінералів заключного стану мінералогенезу (60-70 °С). Газово-рідинні двофазові гідротермальні включення гомогенізувалися в рідину за першим I типом при 230-245 °С. Трифазові включення в своєму складі мають рідинний і газовий діоксид вуглецю (CO<sub>2</sub>) з різним співвідношенням його фаз і водної рідини, іноді гомогенізувалися при 305 °С, але здебільшого вони розгерметизовувалися задовго до повної гомогенізації через низьку температуру CO<sub>2</sub> (31-35 °С).

Проте особливо непередбачуваним для гідротермалітів стали умовно однофазові рідинні включення, які при їхній ідентифікації кріометричними методами дали можливість встановити температурні інтервали їхньої гетерогенізації (-98) – (-133 °С), що визначило їх як вуглеводневі (метанові). Такі умовно однофазові включення з невидимою тонкою плівкою-обляміркою води є, по суті, двофазовими комбінованими водно-метановими. Подібна невидима плівка водної фази часто є навколо гетерогенізованої (за кімнатної температури) газової фази багатьох розплавних включень, особливо у мінералах низькотемпературних магматичних порід. Однак у наших візрцях, з огляду на незмішуваність емульсійних водно-метанових рідинних сумішей та різну здатність змочувати кварц, водні та метанові включення здебільшого ізолюються окремо. Окрім метанових, знайдено етанові інклюзиви на ділянці Добрин.

Однофазові етанові включення під час нагрівання (після охолодження та гетерогенізації) гомогенізувалися в інтервалі температури -41,0 до -46,2 °С. Така температура гомогенізації принципово можлива і для включень рідкого CO<sub>2</sub>. Проте під час охолодження етанових включень газова фаза продовжує перебувати в рівновазі з рідиною за температури, що значно нижча від температури потрійної точки вуглекислоти. Крім того, рідка фаза етанових включень не розкристалізовується до дуже низької (-180 °С і нижче) температури, тоді як вуглекислотні включення, навіть дуже маленькі, а тим більше – великі, обов'язково розкристалізувалися б у разі переохолодження до (-75) - (-80) °С. Водночас новоутворена тверда фаза CO<sub>2</sub> під час нагрівання обов'язково розплавилась би за температури, близької до -56,6 °С (залежно від кількості домішок). В етанових включеннях таке порівняно високотемпературне плавлення не спостерігали.

Етан, як і метан, утворював емульсійну суміш з водним розчином. Оскільки, не було інформації щодо положення ізохор рідкого етану високої густини в РТ-координатах, то не вдалося оцінити РТ – параметри ізоляції етанових включень. За результатами кріометричних досліджень вторинних вуглеводневих включень на різних ділянках гідротермалітів ми встановили такі параметри, як температури гетерогенізації, густину, максимальний тиск та деякі інші показники для метанових (Лостун – температура гетерогенізації °С -104,8 до -114,4; густина – 0,318-0,342 г/см<sup>3</sup>; Мокрин – температура гетерогенізації °С -98,3 до -115,5; густина – 0,295-0,344 г/см<sup>3</sup>; Великий Прелучний – температура гетерогенізації °С -124,6 до -133,0; густина – 0,362-0,377 г/см<sup>3</sup>; для етанових – (Добрин – 41,0 до – 46,2); густина – 0,486 до 0,494 г/см<sup>3</sup>; оцінка максимального тиску двофазових включень була проведена за методом Наккіна–Леммлейна–Калюжного і за кріометричними дослідженнями однофазових включень вуглеводнів і термометрії двофазових вакуоль водного розчину: Лостун – Т. макс. °С і густина (г/см<sup>3</sup>) включень водних розчинів – 100 (0,958); Мокрин – 110 (0,951); Великий Прелучний – 245 (0,806);

Добрин – 125 (0,929). Усі ці параметри виявлені за емульсією скрапленого метану і стиску у водному розчині. Тиск на ділянці Лостун 1,7 МПа, 1,4-2,2 МПа на ділянці Мокрин, а на Великому Прелучному -3,8-4,3 МПа, а на ділянці Добрин визначити його величину не вдалося.

Однофазові метанові включення легко відрізняються від однофазових водних тим, що в метанових газова фаза з'являється в рідкій за дуже низької температури (значно нижчої  $T_{кр} = -82^{\circ}\text{C}$ ). Гомогенізувалися вони в інтервалі між та температурою потрійної точки ( $\sim 182,5^{\circ}\text{C}$ ). У водних включеннях за цієї низької температури простежуються лише твердофазові рівноважні перетворення.

Ми виявили просторові зв'язки (іноді навіть розташування в межах різних ділянок однієї зарощеної тріщини) однофазових метанових включень і двофазових включень водних розчинів. Тому однофазові метанові включення можна трактувати як супутні, а двофазові водні – як нормальні синхронно утворені включення мінералотворних гідротермальних розчинів. Тобто, на стадії заліковування тріщин активно функціонували розшаровані (гетерогенні) метаново-водні розчини (емульсія рідкого метану в водному розчині). Це дало змогу визначити тиск і температуру в момент одночасної ізоляції обох типів включень (РТ-параметри є на перетині відповідних ізохор води й метану). Звертають на себе увагу аномально високі значення РТ-параметрів включень у кварці прирозломної ділянки Великого Прилучного.

Отже, кріометричними дослідженнями однофазових супутніх включень встановлено поширення інклюзивів вуглеводнів метану, і, особливо, на ділянці Добрин – етану, що не притаманно гідротермальному процесу мінералогенезу. Як передбачається, ці вуглеводневі інклюзиви можуть бути прямими індикаторами глибинного залягання в піднасуві Мармароського масиву покладів вуглеводнів, що корелюється з плейт – тектонічними побудовами процесів формування алохтонного покриву цього масиву (Гнилко, 2003; Крупський, 2020; Munteanu, 2003 та ін.). Зокрема, розпад Пангеї започаткував Альпійський етап розвитку території. Процеси рифтогенезу і спредингу у триасі–юрі призвели до відокремлення Дакії від Лавразії. Занурення Дакії у зону субдукції могло спричинити формування Мармароських насувів фундаменту і їхнє насування у бік Карпатського флішевого басейну. Перед Мармароськими покривами поступово утворювалася акреційна флішова призма Зовнішніх Карпат, значна частина якої занурювалася під масив, де могла генерувати вуглеводневі поклади, що дає підстави підтримувати припущення про нафтогазоносність піднасувної частини масиву (Гнилко, 2023). Подібну картину описує Ю. Крупський (2020): упродовж кінця палеогену-неогену активізація тектонічних рухів та штирійських рухів альпійської складчастості призвела до поглинання субстрату у зону субдукції та формування скальпованих покривів флішу північно-східної вергентності та встановлення теперішнього положення кристалічних порід у Мармароському масиві Карпат. Є підстави очікувати, що під насувом можуть бути поклади вуглеводнів. Тим більше, що основа Мармароського масиву за геолого-геофізичними даними залягає на глибинах 4 тис. метрів, які доступні для буріння. Через ці обставини необхідно провести додаткові геолого-структурні і геофізичні дослідження (детальні гравіметричні знімання та сейсмічне вивчення) і пробурити параметричну свердловину (В. Кузовенко, В. Шлапінський, Ю. Крупський). Але це уже, найімовірніше може відбутися після закінчення війни.

## NITROGEN-DOMINATED GAS COMPOSITION OF VESICLES IN MANTLE-DERIVED GLASS SPHERULES

Ivan YATSENKO<sup>1,a</sup>, Igor NAUMKO<sup>1,b</sup>, Oksana STUPKA<sup>1,c</sup>, Victor YATSENKO<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals  
of the NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine

<sup>a</sup> e-mail: yatsenko.ivan1000@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-7972-1702>

<sup>b</sup> e-mail: naumko@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0003-3735-047X>

<sup>c</sup> e-mail: stupkaoksana@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-5871-0249>

<sup>2</sup> Institute of Environmental Geochemistry of the NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

e-mail: vgyatsenko@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-3498-3466>

## ДОМІНУЮЧИЙ ВМІСТ АЗОТУ У СКЛАДІ ГАЗОВИХ ВКЛЮЧЕНЬ У СКЛЯНИХ СФЕРУЛАХ МАНТІЙНОГО ПОХОДЖЕННЯ

Іван ЯЦЕНКО<sup>1,a</sup>, Ігор НАУМКО<sup>1,b</sup>, Оксана СТУПКА<sup>1,c</sup>, Віктор ЯЦЕНКО<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, Львів, Україна

<sup>2</sup> Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України, Київ, Україна

Previous studies documented a highly reduced mineral assemblage (**HRMMA**) in kimberlites of the Ukrainian Shield (Yatsenko et al., 2025). This assemblage comprises glass spherules containing inclusions of native iron; native metals and alloys (Fe, Cu, Zn, Sb, Sn, Pb, Au, and Ag); oxygen-free minerals, including diamond (C), moissanite (SiC), and qusongite (WC); and corundum with inclusions of TiN, TiC, and Si-Ti-Fe phases. We proposed that the HRMMA formed under the highly reducing conditions of the lower mantle (Yatsenko et al., 2025).

To test this hypothesis, we investigated the composition of gases trapped in vesicles within the glass spherules, as these gases may preserve information about the highly reducing conditions under which the spherules formed. Two distinct spherule types were examined: titanium-manganese-iron-silicate (**TMIS**) and calcium-silicate (**CS**) spherules (Figs. 1, 2). Representative samples of both types were analysed using an MSH-3A mass spectrometer. More than 50 spherules were required for each analysis to obtain sufficient sample mass. The results revealed that the vesicles in both spherule types are filled exclusively with nitrogen (Table). No water was detected in the vesicles, an unusual characteristic for natural materials. Glass spherules from the Aikhal and Udachnaya kimberlite pipes likewise contain nitrogen-rich gases, accompanied by significant proportions of methane or hydrogen, whereas water was not detected (see Table).

Earth's silicate rocks are widely regarded as depleted in nitrogen relative to chondrites, the building blocks of the terrestrial planets. Most researchers attribute this depletion to sequestration of the primordial nitrogen inventory into Earth's core and the adjacent silicate mantle during planetary differentiation (Yoshioka et al., 2018). The nitrogen-dominated composition of the vesicle gases is therefore consistent with the proposed lower-mantle origin of the kimberlite spherules.

According to the model proposed by Griffin et al. (2024), highly reduced minerals associated with basic and ultrabasic igneous rocks form in the upper mantle

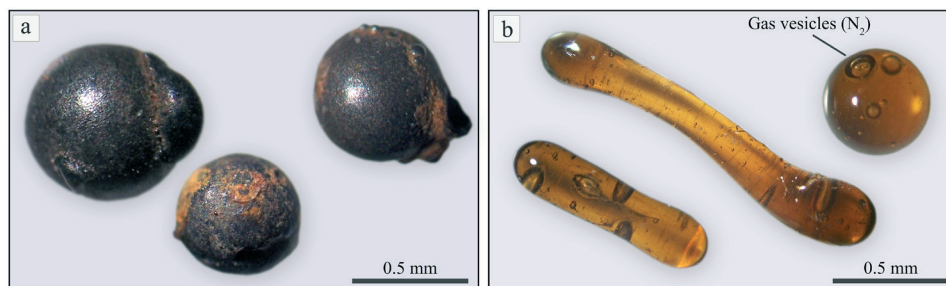


Fig. 1. Photomicrographs of glass spherules: a – TMIS spherules, Mriya pipe, Azov Block of Ukrainian Shield; b – CS spherules, Paleogene tuffsite-like deposits, Putryntsi Site, S-W slope of Ukrainian Shield

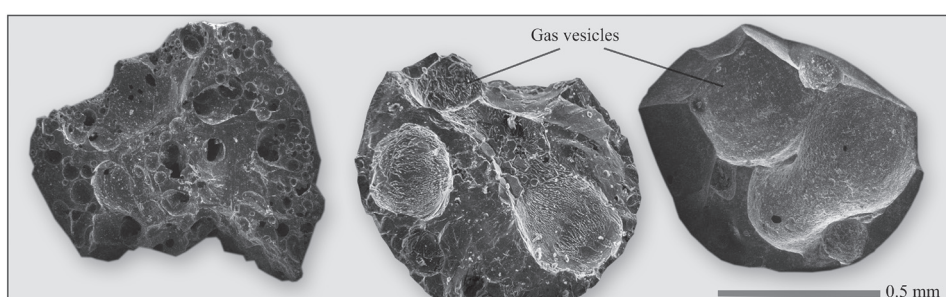


Fig. 2. TMIS spherule fragments demonstrating a highly vesicular texture, Mriya pipe, BSE image

#### Composition of gases trapped in vesicles of glass spherules (vol.%)

| Spherule type | Occurrence     | Lab. No  | CO <sub>2</sub> | N <sub>2</sub> | CH <sub>4</sub> | H <sub>2</sub> | H <sub>2</sub> O | Reference            |
|---------------|----------------|----------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|------------------|----------------------|
| TMIS          | Mriya pipe     | 181-A-1  | –               | 100.00         | –               | –              | –                | This study           |
| CS            | Putryntsi Site | A-603/II | –               | 100.00         | –               | –              | –                | This study           |
| CS            | Aykhal pipe    |          | 2–10            | 58–97          | 23–26           | 5              | –                | Vaganov V. I. (1985) |
| CS            | Udachnaya pipe |          | 1.99            | 44.54          | 3.66            | 49.79          | –                | Bratus' M. D. (1987) |

Notes: “–” (dash) – denotes below the detection limit.

through interaction with deep-mantle fluids rich in H<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub>. However, the nitrogen-dominated, or even exclusively nitrogenous, water-free gas composition of the studied spherules is difficult to reconcile with this model, because reduction reaction involving H<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> should generate H<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub>. Likewise, the observed gas composition contrasts sharply with the volatile composition of kimberlite melts, which are characteristically enriched in H<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub>.

We previously noted similarities between kimberlitic glass spherules and pristine (magmatic) lunar glass spherules (Yatsenko et al., 2025). Notably, some lunar glasses are also characterised by elevated N<sub>2</sub> contents. These similarities suggest that the formation of vesicular glass spherules in explosive eruptions originating at great depths may represent a common process on the rocky planets of the Solar System.

- Griffin, W. L., Bindi, L., Cámara, F., Ma, C., Gain, S. E. M., Saunders, M., Alard, O., Huang, J.-X., Shaw, J., Meredith, C., Toledo, V., & O'Reilly, S. Y. (2024). Interactions of magmas and highly reduced fluids during intraplate volcanism, Mt Carmel, Israel: Implications for mantle redox states and global carbon cycles. *Gondwana Research*, 128, 14–54. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2023.10.013>
- Yatsenko, I., Mugnaioli, E., Varychev, A., Semonova, K., Yatsenko, V., Stupka, O., Borriello, R., & Lorenzon, S. (2025). Spherules in kimberlites: The products of an unknown extreme type of igneous activity of the Earth. *China Geology*, 8, 1–21. <https://doi.org/10.31035/cg20250011>
- Yoshioka, T., Wiedenbeck, M., Shcheka, S., & Keppler, H. (2018). Nitrogen solubility in the deep mantle and the origin of Earth's primordial nitrogen budget. *Earth and Planetary Science Letters*, 488, 134–143. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2018.02.021>

***Мінералого-геохімічні особливості  
осадових товщ провінцій горючих копалин***

---

УДК 069.5:553.98(477.83)

**ІСТОРИЧНА КОЛЕКЦІЯ БОРИСЛАВСЬКОГО РОДОВИЩА  
В ЕКСПОЗИЦІЇ МІНЕРАЛОГІЧНОГО МУЗЕЮ  
ІМЕНІ ЄВГЕНА ЛАЗАРЕНКА**

**Альбертина БУЧИНСЬКА<sup>a</sup>, Катерина БУРБАН<sup>b</sup>, Оксана ЦІЛЬМАК<sup>c</sup>**

Львівський національний університет імені Івана Франка, Львів, Україна  
e-mail: mineralogy.museum@lnu.edu.ua

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0009-0009-6133-6118>; <sup>b</sup> <https://orcid.org/0009-0002-9961-5680>;

<sup>c</sup> <https://orcid.org/0009-0009-5701-2866>

**HISTORICAL COLLECTION OF THE BORYSLAV DEPOSIT  
IN THE EXHIBITION OF THE YEUVHEN LAZARENKO  
MINERALOGICAL MUSEUM**

**Albertyna BUCHYNSKA<sup>a</sup>, Kateryna BURBAN<sup>b</sup>, Oksana TSILMAK<sup>c</sup>**

Ivan Franko National University of Lviv, Lviv, Ukraine

Бориславське нафтогазоконденсатне родовище розташоване в районі м. Борислав Львівської області України, а у тектонічному відношенні – в межах Скибової зони Карпат і Внутрішньої зони Передкарпатського прогину. Перші згадки про нафту в Бориславі відносять ще до XIII ст. Значні нафтопрояви на денній поверхні воротищенських і поляницьких відкладів неогену Бориславської Глибинної складки дозволили на початку XIX ст. розпочати розробку родовища криницями, а згодом – неглибокими свердловинами. Розбурювання родовища глибокими свердловинами розпочато в 1886 р., а дорозвідка з невеликими перервами продовжується до сьогодні. У 1912 році у Бориславі створено Карпатську геологічну станцію, а з 1932 по 1952 рік на базі цієї станції діяв Карпатський геологічно-нафтовий інститут, організатором та багатолітнім керівником якого був видатний геолог-нафтовик Констани Толвінські. Науковими працівниками геологічної станції, а пізніше геологічно-нафтового інституту проведено низку знімально-картувальних, розвідувальних та дослідницьких робіт в межах регіону. Тісно співпрацювали вони і з науковцями геологічного профілю Львівського університету.

Мінералогічний музей імені Євгена Лазаренка, що діє на геологічному факультеті ЛНУ імені Івана Франка, створено 1852 року як першу окрему структурну одиницю геологічного спрямування в університеті. Тут зберігаються експонати, які мають значення не лише наукове, освітнє та естетичне, але і історичне, що стосується також бориславської колекції.

Встановлено, що в колекції Мінералогічного музею імені Євгена Лазаренка є 92 зразки (58 інвентарних позицій) з Борислава. Основну частину бориславської збірки становлять зразки озокериту (60 % збірки, 56 зразків). Частина зразків надійшла до колекції в 1874 і 1880 роках, частина –

в 1950–1960-х. Озокерит з Бориславського родовища медово-коричневого, шоколадно-коричневого, темно-коричневого забарвлення до чорного з характерним смоляним полиском. Текстура більшості зразків озокериту масивна, однак є відміни із волокнистою текстурою. Також в колекції є цікаві вироби з озокериту – зрізані конуси, плитка зі зазначенням на етикетці 1880 року, художні композиції. Описані також зразки, представлені контактом озокериту темно-коричневого забарвлення і темно-сірого пісковика, контактом масивного напівпрозорого агрегату галіту та щільного темно-коричневого озокериту.

В колекції Музею наявні також зразки менілітових сланців з Бориславського регіону: менілітові сланці з прожилками гіпсу відміни селеніт білого забарвлення потужністю до 7–10 мм (12 зразків), менілітові сланці з примазкою ярозиту світло-жовтого забарвлення (11 зразків). Більша їх частина надійшла в колекцію Мінералогічного музею в 1958 році з особистої збірки Михайла Габінета, багаторічного працівника геологічного факультету ЛНУ імені Івана Франка, автора численних праць по геології і мінералогії Прикарпаття і Українських Карпат. Також є 3 зразки окременілої щільної породи від світло-сірого до чорного забарвлення, яку ідентифікують як роговик. В музейній збірці є проба карпазиту – вспіненого матеріалу, що виготовляли з менілітових сланців. Матеріал був експериментальною та запатентованою науковою розробкою ІГГГК НАН України, потенційно може використовуватися як легкий заповнювач для бетонів або як утеплювач, але на даний момент не застосовується.

У фондах Музею зберігаються також геологічні карти, які і досі мають науковий та пізнавальний інтерес при дослідженнях Бориславського родовища. У 1906 році було опубліковано ХХ зошит Геологічного атласу Галіції, який стосувався Дрогобича та навколишнього регіону. Велика частина цього зошита була присвячена Бориславському родовищу. У Музеї зберігаються 9 листів карт, які відносяться до геології та видобутку озокериту, зокрема: Профіль шибів копальні воску «Борислав», 1 : 300 (лист 1); Поперечні розрізи озокеритових жил, зняті з натури, 1 : 25 (лист 2); Геологічні розрізи, досліджені при проходці нафтових копалень Борислава, 1 : 1440 (лист 3); Ситуативний ескіз озокеритових родовищ Борислава (лист 4); Теоретичне зведення озокеритових жил до спільного горизонту (лист 4а); Розташування озокеритових жил на глибині 260 м на підставі відслонень і теоретичних реконструкцій (лист 4б); Ситуативний ескіз Борислава із свердловинами, в яких був виявлений озокерит, 1 : 10 000 (листи 5 і 5а); Геологічні розрізи через Нагуєвичі, Попелі і через свердловини в Бориславі (вздовж Тисмениці), 1 : 10 000 (лист 6).

Наступна велика картографічна робота по Бориславському родовищу була проведена Карпатською геологічною станцією. Вона завершилася виданням у 1930 році Структурної карти Борислава (з поділом на ділянки видобутку) масштабом 1 : 5000 на 6 листах. Авторами карти були К. Толвінські разом з Ст. Краєвські, Б. Флешар, Г. Гурка, М. Квасневич та ін. Карта була складена на підставі польових досліджень і матеріалів Карпатської геологічної станції, кадастрових планів і документів Міністерства громадських праць, військового інституту географії, гірничого уряду у Дрогобичі, дирекції державних лісництв, а також спілок: Фанто, Галіція, Карпати, Ліманова, Нафта, Сільва Планта, Стандарт-Нобель та ін. Окремими листами було опубліковано

повздовжні (листи I та II) та поперечні (листи III–V) геологічні розрізи. Із цією картою та розрізами до неї можна також ознайомитися у фондах нашого Музею.

Бібліотека Мінералогічного музею імені Євгена Лазаренка містить багато наукових праць, починаючи ще з середини XIX ст., зокрема тих, що стосуються Бориславського родовища. Важливим в науковому та історичному плані є цикл “O gorach polskich”, який складався з 11 статей, що були опубліковані впродовж 1928–1931 рр. у журналі «Космос» (бюлетень польського товариства природничиків «Копернік» у Львові). Статті містять результати досліджень фізико-хімічних властивостей нафти із різних родовищ під керівництвом професора Генріка Арктовські – тодішнього керівника Інституту геофізики та метеорології Львівського університету. Стаття «Про походження бориславських нафт» за авторством Генріка Арктовські та Ігнаці Готтліба вийшла в 1930 році, вона містить опис 71 свердловини Бориславського родовища (глибини, геологічні особливості, заводненість та продуктивність), а також результати проведених досліджень – результати дистиляції, в’язкість, показники заломлення світла нафтових фракцій та ін. Стаття не втратила свого наукового значення і досі.

Важливою науковою працею наступного етапу було видана 1934–1937 рр. книга Карпатським геологічно-нафтовим інститутом під керівництвом К. Толвінського “Kopalnie nafty i gazów ziemnych w Polsce”, II том якої присвячений Бориславу та його нафті. В цій праці описано геологічну будову та стратиграфію Бориславського регіону, а також дані по окремих свердловинах та родовищах нафти, природного газу і озокериту, наведена статистика видобутку з 1886 по 1932 рік в Бориславі, Тустановичах та Мразниці. До цієї книги було також додано низку карт: геологічна карта Борислав–Тустановичі–Мразниця 1 : 10 000; геологічна карта околиць Борислава 1 : 30 000; геологічний профіль структури Бескидських Карпат у районі Борислава 1 : 20 000; тектонічна карта Борислава 1 : 15 000; карта продуктивності нафтових родовищ Борислава на тлі глибинної структури 1 : 25 000; карта розташування покладів нафти і вод, що оточують у поляницьких верствах; карта основних горизонтів (покладів) Борислава в експлуатації 1 : 25 000; карта експлуатованих родовищ і глибинної пластової води Борислава 1 : 25 000; оглядова карта копалень озокериту в Бориславі; графік видобутку бориславських копалень; графік кривих спорідненості видобутку нафти для деяких бориславських свердловин.

Описана колекція має значення не лише для історії геологічного вивчення та освоєння Бориславського родовища, а і для збереження наукової пам’яті про розвиток геологічної науки та нафтовидобувної промисловості регіону. Музей відкритий до співпраці з науковцями-природничиками, а також істориками і дослідниками промислової спадщини України.

**ВТОРИННІ ЗМІНИ ГРАВЕЛІТІВ  
ДОРОБРАТІВСЬКОЇ СВІТИ САРМАТСЬКОГО ЯРУСУ  
ВИГОРЛАТ-ГУТИНСЬКОГО ПОЯСУ  
ЗА РОЗРІЗОМ СВ. ВІНКІВСЬКА-4**

**Ігор ЗІНЧУК<sup>a</sup>, Павло ЧЕПУСЕНКО<sup>b</sup>,  
Зоряна МАТВІЙШИН<sup>c</sup>, Лариса ТЕЛЕПКО<sup>d</sup>**

Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, Львів, Україна

<sup>a</sup> e-mail: ig.zinchuk@ukr.net; <https://orcid.org/0009-0008-0647-4975>;

<sup>b</sup> <https://orcid.org/0009-0007-1825-0314>;

<sup>c</sup> <https://orcid.org/0000-0001-5263-8346>;

<sup>d</sup> <https://orcid.org/0009-0007-8283-1113>

**ALTERATION OF GRAVELITES  
OF THE DOROBRAIVSKA SUITE OF THE SARMATIAN STAGE  
OF VYGORLAT-GUTA BELT  
BY THE SECTION OF VINKIVSKA-4 BOREHOLE**

**Igor ZINCHUK<sup>a</sup>, Pavlo CHERPUSENKO<sup>b</sup>,  
Zoryana MATVIISHYN<sup>c</sup>, Larysa TELEPKO<sup>d</sup>**

Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals  
of the NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine

Породи доробратівської світи представлені перешаруванням вулканогенних порід (плагіоклазові порфірити) з різнозернистими гравелітами, кварцовими пісковиками, аргілітами.

Плагіоклазові порфірити (1320–1325 м) низькопористі, практично непроникні породи і відносяться до порід-неколекторів. На відміну від них, різнозернисті гравеліти (1250–1258 м), уламковий матеріал яких майже повністю складений порфіритами, вирізняються високими значеннями відкритої пористості (14,2–22,8 %) і значною газопроникністю. За цими параметрами вони відносяться до колекторів II–IV класів. На наш погляд, такі властивості гравелітів не можна пояснити лише структурними особливостями порід.

Мінералогічними дослідженнями гравелітів встановлено, що формування порід супроводжувалось кількома епізодами значної структурної і мінералогічної перебудови. Уламки плагіоклазових порфірів різною мірою аргілізовані з утворенням монтморилоніту. У малозмінених уламках монтморилоніт виповнює ізольовані пори розміром до 1,5 мм. У більш змінених уламках такі пори зливаються. У контакті з водним флюїдом вторинний монтморилоніт набухає, утворюючи гель, що закриває поровий простір. Паралельно відбувається дезінтеграція породи до дресви. Аргілізацією породи можна пояснити різну поведінку зразків у контакті з оточуючим середовищем. При дослідженнях газопроникності монтморилоніт залишається фізично інертним і не спотворює порового простору.

Цементуюча маса порід дрібнопіщаної розмірності, карбонатизована, містить бурі, темно-коричневі уламки частково вуглефікованої деревної тканини, а також обривки трубчастих стебел і насіння трав'янистих рослин.



Кремністі туфи на стінках каналів виливу гідротермальних вод

Після первісної консолідації описувані породи перебували в умовах активного тектонічного режиму і зазнали впливу нагрітого високоактивного водного флюїду. Більшість досліджених зразків брекчійовані і пронизані прожилками білого крупнокристалічного доломіту та гніздами карбонату до 1 см, центральні частини яких виповнює світло-сірий напівпрозорий тонкозональний гроноподібний халцедон. Зрідка зустрічаються мономінеральні згустки зеленкуватого монтморилоніту розміром до 15 мм, очевидно вимитого з аргілізованих плагіоклазових порфіритів.

У кількох зразках присутні фрагменти крупних складнобудованих порожнин. Це субвертикальні канали, стінки яких вистелені гостровершинними кристалами доломіту, на які нарастає оболонка білого неяснозонального халцедону, на зламі подібного на білий кахолонг. Найбільш пізні зони росту халцедону пористі, крейдоподібні, з крейдоподібною присипкою на вільній поверхні. В окремих ділянках наростання халцедону супроводжувалось дрібними безбарвними кристаликами кварцу.

За структурним положенням ці утворення можна трактувати як типові гейзерити, а за складом – як кременистий туф.

Характер цементуючої маси порід і присутність у ній численних розлинних залишків свідчать про накопичення уламкового матеріалу і початкову консолідацію породи в умовах неглибокої водойми, можливо кальдерного типу. Наявність гейзериту може свідчити про подальше перебування породи в субаеральних умовах у зоні виливу гарячих вод, вплив яких спричинив значну доломітизацію гравелітового породного масиву.

**ЛІТОЛОГО-ГЕОХІМІЧНІ ФАКТОРИ ФОРМУВАННЯ І  
ЗБЕРЕЖЕННЯ КОЛЕКТОРСЬКИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ  
ВЕРХНЬОЮРСЬКИХ КАРБОНАТНИХ ПОРІД ФУНДАМЕНТУ  
ЗОВНІШНЬОЇ ЗОНИ ПЕРЕДКАРПАТСЬКОГО ПРОГИНУ**

**Марта МОРОЗ**

Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, Львів, Україна  
e-mail: martamgv69@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0001-3695-2682>

**LITHOLOGICAL AND GEOCHEMICAL FACTORS IN THE FORMATION  
AND PRESERVATION OF RESERVOIR PROPERTIES  
IN UPPER JURASSIC CARBONATE ROCKS OF THE FOUNDATION  
OF THE OUTER ZONE OF THE CARPATHIAN FOREDEEP**

**Marta MOROZ**

Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals  
of the NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine

Проведені мінералого-петрографічні дослідження верхньоюрських нафтогазоносних відкладів фундаменту Зовнішньої зони Передкарпатського прогину показали, що їх розріз переважно складений вапняками, які залягають на глибинах від 810 м (площа Коханівка) до 5289 м (площа Лопушна). Серед літологічних відмін порід переважають органогенно-уламкові, органогенно-детритові і менше – пелітоморфні вапняки, різною мірою перекристалізовані і доломітизовані, та метасоматичні доломіти.

Процеси перекристалізації карбонатних порід на ранніх стадіях епігенезу сприяли вибіркового вилугуванню вапняків та доломітів і призводили до утворення вторинних пустот і каверн, різних за формою та розмірами (рис. 1, 2). З процесами діагенезу пов'язане розчинення карбонатного матеріалу, яке різним чином впливає на колекторські властивості карбонатних порід. Аутигенне мінералоутворення, за винятком доломітизації, погіршує, а перекристалізація покращує колекторські властивості досліджених карбонатних порід.

Занурення порід на значні глибини сприяло збереженню і навіть покращенню колекторських властивостей як внаслідок розчинення, так і текстурної неоднорідності, по контурах якої розвивається тріщинуватість. Найсприятливішими у цьому відношенні є органогенні і уламкові відміни карбонатних порід. Наявність глинистих мінералів у складі цементу карбонатних колекторів підвищує їх текстурну неоднорідність, а отже, і схильність до утворення тріщин.

У досліджених породах переважання одного з типів пустот визначає тип колекторів, а саме: поровий, порово-каверновий, тріщинний, тріщинно-каверновий. Пористість порід за даними лабораторних визначень змінюється від 0,07 до 18,20 %, а їх проникність складає від <0,01 до 76,60 фм<sup>2</sup>.

У розвитку пустот карбонатних відкладів головну роль відіграє не фактор гравітаційного ущільнення порід з глибиною, а неоднорідність будови порового простору, що сформувалася у стадію седиментогенезу; у подальшому –

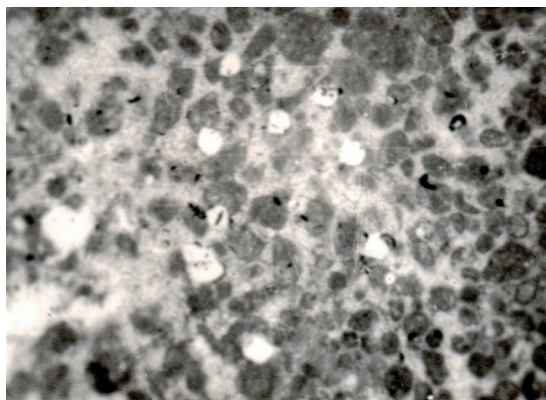


Рис. 1. Пори у форамініферово-дрібногрудкуватому вапняку. Св. 2-Південна Гринівка, глибина 3530–3542 м. Шліф, ніколі II, х42

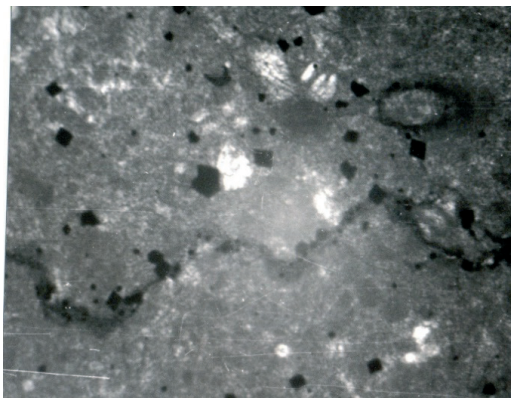


Рис. 2. Мікротріщина з легкою жовтою нафтою у дрібно-крупногрудкуватому вапняку. Св. 3-Лопушна, глибина 3530–3542 м. Шліф, ніколі II, х125

ступінь перетворення порід постседиментаційними процесами і їх схильність до утворення тріщин. Часткове погіршення колекторських властивостей деяких карбонатних пластів із збільшенням глибини їх залягання пояснюється інтенсивним заліковуванням первинних пустот внаслідок вторинних процесів. У той же час фільтраційно-ємнісні параметри окремих зразків карбонатних колекторів покращуються з глибиною, що, ймовірно, пов'язане з підвищеною розчинністю частини пористо-проникних відмін при зміні термодинамічних умов і хімізму вод.

Поєднання особливостей карбонатних порід, таких як рання літифікація, неоднорідність первинної структури порового простору, хімічна рухливість карбонатних мінералів, а також схильність до утворення тріщин, визначає велику різноманітність морфології та генезису пустот.

Мороз, М. В. (2012). *Літологія верхньоярських відкладів Зовнішньої зони Передкарпатського прогину* [Дис. канд. геол. наук]. Львів.

Мороз, М. В. (2023). Літогенез верхньоярських відкладів Зовнішньої зони Передкарпатського прогину. *Геологія і геохімія горючих копалин*, 3–4(191–192), 105–121. <https://doi.org/10.15407/ggcm2023.191-192.105>

**ВЗАЄМОДІЯ ГЛИНИСТИХ МІНЕРАЛІВ ТА  
ОРГАНІЧНИХ СПОЛУК В ЕВАПОРИТОВИХ ВІДКЛАДАХ:  
ВПЛИВ НА ТРАНСФОРМАЦІЮ**

**Ярослава ЯРЕМЧУК<sup>a</sup>, Софія ГРИНІВ<sup>b</sup>**

Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, Львів, Україна

<sup>a</sup> e-mail: slava.yaremchuk@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0008-3952-6356>

<sup>b</sup> e-mail: sophia\_hryniv@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0001-9721-1290>

**INTERACTION BETWEEN CLAY MINERALS  
AND ORGANIC COMPOUNDS IN EVAPORATE DEPOSITS:  
INFLUENCE ON TRANSFORMATION**

**Yaroslava YAREMCHUK<sup>a</sup>, Sophiya HRYNIV<sup>b</sup>**

Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals  
of the NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine

Взаємодія органічних сполук з глинистими мінералами є важливою як для природних геологічних процесів, так і для прикладних досліджень. Дослідження взаємодії органічних сполук із глинистими мінералами активно розпочалися у 1930-х роках. Було встановлено, що неорганічні катіони міжшарового простору можуть замінюватися органічними катіонами. Схожість будови силосанової сітки глинистого мінералу із органічними сполуками є додатковим чинником захоплення цих сполук у міжшаровий простір. Органічні катіони притягуються до заряджених базальних поверхонь шаруватих мінералів типу 2 : 1, нейтральні молекули можуть утворювати координаційні комплекси з міжшаровими катіонами. У природних умовах відносно прості органічні сполуки, первинно привнесені в осадове середовище, у процесі діагенезу трансформуються у складніші форми. В евапоритових відкладах присутня як сингенетична, так і епігенетична органічна речовина. Епігенетичне походження встановлено за результатами вивчення включень у галіті та складу бітумоїдів евапоритових відкладів.

Мета роботи – встановити механізми взаємодії органічної речовини з глинистими мінералами евапоритових відкладів і з'ясувати її вплив на трансформацію. Особливості цих процесів досліджено на прикладі неогенових евапоритів Передкарпатського прогину та верхньонеопротерозойсько-нижньокембрійських евапоритів формації Соляний Кряж (Пакистан).

Неогенові евапорити Передкарпатського прогину та верхньонеопротерозойсько-нижньокембрійські евапорити формації Соляний Кряж, незважаючи на значну вікову та територіальну різницю, формувалися із згущеної морської води сульфатного хімічного типу та в межах регіонів нафтогазогенерації та міграції вуглеводнів. За результатами наших досліджень (Яремчук та ін., 2026; Yaremchuk et al., 2020), обидві товщі характеризуються спорідненими асоціаціями глинистих мінералів, представленими набухаючими структурами (монтморилоніт, коренсит) і змішаношаруватими фазами (хлорит-монтморилоніт, хлорит-коренсит і гідрослюда-монтморилоніт),

що свідчить про сповільнену трансформацію глинистої складової в евапоритових умовах.

Наші дослідження (Yaremchuk et al., 2025) показали, що уповільнена трансформація глинистих мінералів у евапоритових відкладах може бути значною мірою пов'язана з специфічною взаємодією з органічною речовиною. Органічні сполуки активно сорбуються як на зовнішніх поверхнях глинистих частинок, так і в міжшарових проміжках лабільних структур. Адсорбція поверхнею відбувається переважно на дефектах, бокових поверхнях і сколах частинок, меншою мірою – базальних поверхнях. Унаслідок високої дисперсності глинистих частинок сумарна поверхня має велику площу та може сорбувати помітну кількість органічної речовини. Такий спосіб адсорбції органічної речовини характерний для глинистих мінералів усіх типів структур, тоді як проникнення органічних сполук у міжшаровий простір характерне насамперед для набухаючих мінералів типу монтморилоніту.

Як для баденських евапоритів Передкарпатського прогину, так і для евапоритів формації Соляний кряж методами X-променевої дифракції підтверджена присутність органічних сполук, адсорбованих поверхнею глинистих частинок і захоплених у міжшарові проміжки їхніх лабільних структур. Дифракційні спектри глинистих мінералів цих відкладів показують підвищення лінії фону, гало в області  $22\text{--}36^\circ 2\theta$ , часом розмиті базальні рефлексії. Ці ознаки характеризують поверхневу адсорбцію органічної речовини, тоді як чіткі піки низької інтенсивності з міжплощинними віддальми  $2,91\text{--}1,54$  нм в області малих кутів дифракції, частина з яких залишається на дифрактограмах і після термічної обробки, вказують на проникнення органічних сполук у міжшаровий простір. При цьому кристалічні ґратки монтморилоніту та змішаношаруватих утворень стають неупорядковано розширеними уздовж осі *C*, що призводить до появи на дифрактограмах додаткових рефлексів низької інтенсивності в області малих кутів. Органічні сполуки, інтеркальовані в міжшаровий простір глинистих мінералів, перешкоджають захопленню неорганічних катіонів, що сповільнює або зупиняє аградаційні трансформаційні процеси. Присутність в асоціаціях великої кількості лабільних глинистих мінералів на галітовій стадії седиментогенезу (монтморилоніт, коренсит та змішаношаруваті утворення) пов'язана із присутністю органічних сполук, захоплених цими глинистими мінералами. Однак слід зазначити, що розмаїття мінеральних асоціацій сформоване низкою чинників, серед основних (крім органічної речовини): низька концентрація розсолів, продукти вулканічної діяльності. Вулканічна активність на тлі низької концентрації розсолів сприяла формуванню лабільних глинистих мінералів та змішаношаруватих фаз, а взаємодія з органічними сполуками призупиняла трансформаційні процеси, тобто створювала умови для збереження такої асоціації глинистих мінералів.

Для евапоритових відкладів Передкарпатського прогину сорбована структурою глинистих мінералів органічна речовина є епігенетичною та пов'язана з міграцією вуглеводнів у цьому нафтогазоносному регіоні. У Карпатському регіоні утворення регіональних насувів створило шляхи міграції нафти, яка по тріщинах потрапляла в міоценові евапоритові відклади. У літифікованій евапоритовій товщі процеси трансформації глинистих мінералів тривали через міжкристалічні розсоли в породі, що були шляхами постачання катіонів

чи органічної речовини. Верхньонеопротерозойсько-нижньокембрійські евапоритові відклади формації Соляний Кряж теж зазнавали впливу епігенетичної органічної речовини, що мігрувала евапоритовою товщею. Її джерелом, ймовірно, були тонкі прошарки темних сланців, збагачених органічною речовиною, що розглядаються дослідниками як потенційно нафтоматеринські. Ознаки присутності епігенетичної органічної речовини також встановлені у мергелевій товщі Савал, що підтверджує її участь у постседиментаційній трансформації глинистих мінералів.

- Яремчук, Я., Гринів, С., Городечна, Н., & Білик, Л. (2026). Вплив хімічного складу вод морського та континентального походження на формування глинистих мінералів евапоритових формацій (на прикладі Передкарпаття та формації Соляний кряж). *Геологія і геохімія горючих копалин*, 2(202), 76–97. <https://doi.org/10.15407/ggcm2026.202.076>
- Yaremchuk, Y., Hryniv, S., & Peryt, T. (2025). Controls on the Transformation of Clay Minerals in the Miocene Evaporite Deposits of the Ukrainian Carpathian Foredeep. *Minerals*, 15, 395. <https://doi.org/10.3390/min15040395>
- Yaremchuk, Y., Hryniv, S., Peryt, T., Vovnyuk, S., & Meng, F. (2020). Controls on Associations of Clay Minerals in Phanerozoic Evaporite Formations: An Overview. *Minerals*, 10(11), 974. <https://doi.org/10.3390/min10110974>

УДК 552.53:549.623:551.72/.732(549.1)

**АСОЦІАЦІЇ ГЛИНИСТИХ МІНЕРАЛІВ  
ВЕРХНЬОНЕОПРОТЕРОЗОЙСЬКО-НИЖНЬОКЕМБРІЙСЬКОЇ  
МЕРГЕЛЕВОЇ ТОВЩІ САВАЛ (СОЛЯНИЙ КРЯЖ, ПАКИСТАН):  
ОСОБЛИВОСТІ ТА РОЗПОДІЛ У ТОВЩІ**

**Ярослава ЯРЕМЧУК<sup>a</sup>, Софія ГРИНІВ<sup>b</sup>,  
Надія ГОРОДЕЧНА<sup>c</sup>, Людмила БІЛИК<sup>d</sup>**

Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, Львів, Україна

<sup>a</sup> e-mail: slava.yaremchuk@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0008-3952-6356>;

<sup>b</sup> sophia\_hryniv@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0001-9721-1290>;

<sup>c</sup> <https://orcid.org/0009-0003-8389-5953>; <sup>d</sup> <https://orcid.org/0009-0007-8692-3437>

**CLAY MINERAL ASSOCIATIONS  
OF THE UPPER NEOPROTEROZOIC-LOWER CAMBRIAN  
SAHWAL MARL MEMBER (SALT RANGE, PAKISTAN):  
FEATURES AND DISTRIBUTION WITHIN THE SEQUENCE**

**Yaroslava YAREMCHUK<sup>a</sup>, Sophiya HRYNIV<sup>b</sup>,  
Nadiia HORODECHNA<sup>c</sup>, Liudmyla BILYK<sup>d</sup>**

Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals  
of the NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine

В евапоритових відкладах поряд із дослідженням соляних мінералів значний інтерес становлять і глинисті, чутливість яких до змін геохімічних умов є незаперечною. Їхні перетворення в евапоритовому процесі відбуваються за схемою аградаційної трансформації у гіперсоленому середовищі,

де основними чинниками є концентрація та хімічний склад розсолів (Yaremchuk et al., 2025). З метою вивчення глинистих мінералів ранніх стадій галогенезу у пізньонеопротерозойсько-ранньокембрійський час та визначення впливу загальних і локальних чинників на формування глинистих мінералів досліджено мінеральний склад водонерозчинного залишку мергелевої товщі Савал формації Соляний Кряж.

Формація Соляний Кряж (Пакистан) – верхньонеопротерозойсько-нижньокембрійська евапоритова товща потужністю понад 830 м, представлена соленосною, гіпсоносною та мергелевою частинами. Досліджена мергелева товща Савал товщиною до 140 м складена червоними мергелями з прошарками гіпсу й доломіту, інтродованими трапами Хевра; у верхній частині розрізу присутні горючі сланці.

У східній частині формації Соляний Кряж (ущелина Хевра) відібрано для дослідження 49 зразків мергелів товщі Савал. Пелітову фракцію виділяли шляхом диспергування у дистильованій воді та гранулометричного розділення; гіпс і доломіт видаляли відповідно 1 н. NaCl і 10 % мурашиною кислотою. Для дослідження пелітової фракції застосовано мінералогічні методи, основним з яких був метод X-променевої дифракції (XRD).

За даними XRD-дослідження, у пелітовій фракції мергелів встановлено гідрослюда, хлорит, коренсит, хлорит-коренсит, хлорит-монтморилоніт, а також домішки монтморилоніту та гідрослюда-монтморилоніту. У частині проб виявлено дефектні різновиди хлориту й коренситу (таблиця). Загалом у мергелях ідентифіковано дев'ять глинистих фаз, включно зі змішаношаруватими утвореннями. В асоціаціях переважали 4–5 фаз, рідше траплялися 3 або 6; лише в одній пробі зафіксовано сім кристалічних фаз (рис. 1). У всіх пробах домінує гідрослюда, переважно в асоціації з хлоритом, частота трапляння якого становить 83 % (рис. 2). У частині зразків хлорит представлений дефектними різновидами або затушовується змішаношаруватими фазами хлорит-монтморилоніту. Майже половина проб містить коренсит і хлорит-коренсит, тоді як монтморилоніт та гідрослюда-монтморилоніт присутні переважно як домішки. Розподіл частоти трапляння фаз виявив два максимуми (див. рис. 2), що свідчить про накладання щонайменше двох

#### Асоціації глинистих мінералів мергелів товщі Савал

| № п/п | Асоціація глинистих мінералів | № п/п | Асоціація глинистих мінералів |
|-------|-------------------------------|-------|-------------------------------|
| 1     | Г, х, к, х-к, г-м             | 8     | Г, х, к, г-м                  |
| 2     | Г, х, к, х-к, х-м, г-м, м     | 9     | Г, х, х-м                     |
| 3     | Г, х, к, г-м, м               | 10    | Г, х*, к*                     |
| 4     | Г, х, х-к, г-м, м             | 11    | Г, г-м, м, х*, к*             |
| 5     | Г, х, к, м                    | 12    | Г, х*, к*                     |
| 6     | Г, х, к, х-к, г-м, м          | 13    | Г, х, х-м, г-м, м, к*         |
| 7     | Г, х, к, х-к                  | 14    | Г, к, м, х*, к*               |

Позначення: г – гідрослюда, х – хлорит, м – монтморилоніт, к – коренсит, х\* – дефектний хлорит, к\* – дефектний коренсит; змішаношаруваті утворення: х-м – хлорит-монтморилоніт; х-к – хлорит-коренсит, г-м – гідрослюда-монтморилоніт.

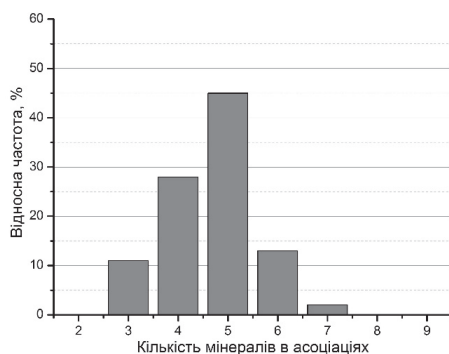


Рис. 1. Кількісний розподіл асоціацій глинистих мінералів у пелітовій фракції мергелевої товщі Савал, формація Соляний кряж

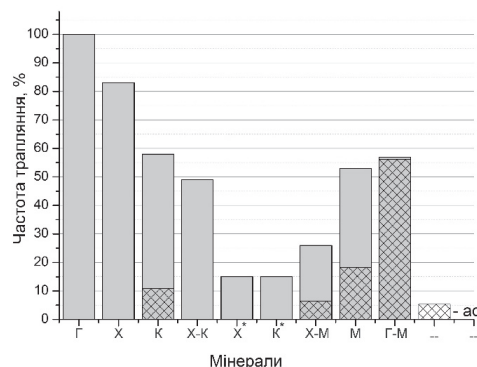


Рис. 2. Частота трапляння глинистих мінералів у пелітовій фракції мергелевої товщі Савал формації Соляний кряж

процесів формування асоціацій: коливань концентрації розсолів та надходження вулканогенного матеріалу; взаємодія яких зумовила складність і неоднорідність асоціацій, зокрема вміст коренситу в окремих пробах лише на рівні домішки.

Визначені за даними дослідження глинисті мінерали в асоціаціях є аутигенними, переважно трансформованими. Це підтверджується пониженим вмістом алюмінію за підвищених концентрацій магнію та окисного феруму. Така особливість зумовлена присутністю магнезійних триоктаедричних мінералів (монтморилоніту, коренситу, хлориту), змішаношаруватих фаз за їх участі та залізистої гідрослюди.

Асоціації глинистих мінералів формувалися під впливом розсолів солеродного басейну. Чутливі до змін геохімічних умов глинисті мінерали реагували на коливання концентрації розсолів структурною перебудовою та зміною кількісних співвідношень фаз. У процесі осолонення й опріснення одні мінерали зникали, інші формувалися або переходили у змішаношаруваті утворення. При трансформації Mg-монтморилоніту в досліджених відкладах формувалася низка змішаношаруватих утворень із різною кількістю набухаючих пакетів: гідрослюда-монтморилоніт, хлорит-монтморилоніт, хлорит-коренсит, коренсит, а також дефектні хлорит і коренсит. Значне розмаїття лабільних мінералів і фаз зумовлене кількома чинниками: одновіковим вулканізмом, низькою концентрацією розсолів евапоритового басейну та проникненням органічних сполук у міжшаровий простір лабільних мінералів. Вулканогенний матеріал був джерелом алюмосилікатного гелю, з якого кристалізувався монтморилоніт, тоді як низька мінералізація розсолів і взаємодія з органічною речовиною сповільнювали аградаційну трансформацію та сприяли розмаїттю глинистих асоціацій.

Yaremchuk, Y., Hryniv, S., & Peryt, T. (2025). Controls on the Transformation of Clay Minerals in the Miocene Evaporite Deposits of the Ukrainian Carpathian Foredeep. *Minerals*, 15, 395. <https://doi.org/10.3390/min15040395>

**EXTREME RICHNESS OF MINERALOGICAL COMPOSITION  
OF PYROMETAMORPHIC ROCKS  
FORMED IN EXPENSE OF COAL-BEARING  
SEDIMENTARY PROTOLITHS OF UPPER SILESIA, POLAND**

**Lukasz KRUSZEWSKI**

Institute of Geological Sciences, Polish Academy of Sciences, Warsaw, Poland

e-mail: lkruszewski@twarda.pan.pl

**ВИНЯТКОВЕ БАГАТСТВО МІНЕРАЛОГІЧНОГО СКЛАДУ  
ПІРОМЕТАМОРФІЧНИХ ПОРІД,  
УТВОРЕНИХ ЗА РАХУНОК ВУГЛЕВМІСНИХ  
ОСАДОВИХ ПРОТОЛІТІВ ВЕРХНЬОЇ СІЛЕЗІЇ, ПОЛЬЩА**

**Лукаш КРУШЕВСЬКИЙ**

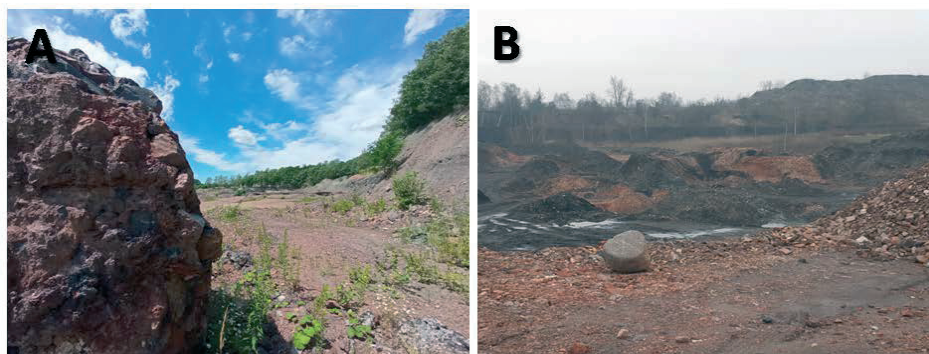
Інститут геологічних наук, Польська академія наук, Варшава, Польща

**Abstract.** Coal mining is responsible of the formation of numerous waste-rock heaps.

**1. Introduction.** Coal fires are spontaneous phenomena that occur both in the natural and anthropogenic environment. The latter refers to post-coal-mining waste-rock heaps (CMWHs) that collect remnants of fuel and, mainly, the coal-associated sedimentary rocks – shales, sandstones and carbonate rocks. The latter stand for important fluxes modifying temperatures of phase transformations (usually in the 300–1200 °C range) that result from burning processes, mostly in heap interiors (burnout stage/zones). Those solid-solid but also gas-solid and similar processes are collectively known as pyrometamorphism. Typical pyrometamorphic (PM) rocks – metapelites – are represented by common clinkers and buchites, and less frequent parabasalts (“paralavas”), and metacarbonate slags. Herein I shortly characterize mineral composition of PM rocks collected during 15+ years of research within the Upper Silesian Coal Basin (USCB), southern Poland.

**2. Mineralogy of the USCB pyrometamorphic rocks.** Among the most interesting minerals constituting the USCB PM rocks – beside the most common quartz, mullite, cordierite-sekaninaite/indialite-ferroindialite, cristobalite, tridymite, sillimanite, anorthite, diopside-esseneite, fluorellestadite-fluorapatite, hematite, Ca ferrites (srebrodolskite; harmunite, “grandiferrite” and others), olivine-group minerals, and the oxyspinel-group species magnetite, magnesioferrite, maghemite, and hercynite (and probably deltalumite and/or  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and/or “silicon spinel”) – worthy mentioning are, i.a., anandite, andradite, bredigite, cancrisilite, chlormagaluminite, celsian, clinotobermorite and tobermorite, cohenite, cuspidine, dellaite, florenskyite, fluorite; graftonite-, mayenite-, melilite-, pyrosmalite-, rhönite-, and scapolite-group minerals; harrisonite, huntite, hydrocalumite, ilvaite, kushiroite, larnite, leucite, murashkoite, oldhamite, periclase, perovskite, pliniusite, plombièreite, portlandite, pyrrhotite, reyerite, rustumite, sanbornite, scawtite, sellaite, thaumasite, tilleyite, truscottite, vaterite, ye’elimite, xifengite, and some new mineral species (e.g., Kruszewski, in preparation for *Minerals*).

The USCB PM complexes are variable not just in terms of the mineralogy of their rocks, but also rock structures, spatial extensions, and levels of weathering. Examples are shown in the Figure.



Example PM complexes of the USCB CMWHs; A – heap at Wilchwy, Wodzisław Śląski, with large blocks of PM breccia and partial vegetation cover; B – heap at the Barbara pond, Zabrze

**3. Discussion.** The USCB pyrometamorphic rocks characterize in extreme mineralogical wealth. This results from both the dynamics of the PM processes and variations in the mineralogical/geochemical composition of the sedimentary precursor rocks.

*Acknowledgements:* this work is funded by the Ministry of Science as statutory funds for the IGS PAS (2010-2023).

Kruszewski, Ł. (2008). Apatite-ellestadite solid solution and associated minerals of meta-carbonate slags from burning coal dump in Rydułtowy (Upper Silesia). *Mineralogia – Special Papers*, 32, 100.

Kruszewski, Ł. (2013). Synthesis of diverse chemically and structurally unique substances from coal-mining heap waste during experiments in diffraction-coupled thermal chamber. In *Proceedings, Science for Industry: Necessity is the mother of invention: Second Networking Event in the field of modern techniques in geosystem exploration*. Warszawa.

Kruszewski, Ł. (2018). Geochemical behavior of trace elements in the Upper and Lower Silesian Basin coal-fire gob piles of Poland. In G. B. Stracher (Ed.), *Coal and peat fires: A global perspective: Vol. 5. Case studies – Advances in field and laboratory research* (Chpt. 19). Elsevier.

Nasdala, L., & Pekov, I. V. (1993). Ravatite,  $C_{14}H_{10}$ , a new organic mineral species from Ravat, Tadzhikistan. *European Journal of Mineralogy*, 5(4), 699–705.

УДК 550.83:553.98(477.8)

**ПЕТРОФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ КОЛЕКТОРІВ  
ЗАХІДНОГО НАФТОГАЗОНОСНОГО РЕГІОНУ УКРАЇНИ**

**Ігор КУРОВЕЦЬ<sup>a</sup>, Роман-Даниїл КУЧЕР<sup>b</sup>, Зоряна КУЧЕР<sup>c</sup>,  
Юлія ЛИСАК<sup>d</sup>, Степан МИХАЛЬЧУК<sup>e</sup>**

Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, Львів, Україна

<sup>a</sup> e-mail: i.kurovets@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-8062-8994>;

<sup>b</sup> <https://orcid.org/0000-0003-0988-9697>; <sup>c</sup> <https://orcid.org/0009-0008-6738-72424>;

<sup>d</sup> <https://orcid.org/0009-0002-4079-2922>; <sup>e</sup> <https://orcid.org/0009-0001-7827-1068>

**PETROPHYSICS PROPERTIES OF RESERVOIRS  
OF THE WESTERN OIL-GAS-BEARING REGIONS OF UKRAINE**

**Ihor KUROVETS<sup>a</sup>, Roman-Danyil KUCHER<sup>b</sup>, Zoryana KUCHER<sup>c</sup>,  
Yulia LYSAK<sup>d</sup>, Stepan MYKHALCHUK<sup>e</sup>**

Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals  
of the NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine

Викладено результати багаторічних досліджень ємнісно-фільтраційних і фізико-механічних властивостей порід-колекторів основних осадових літолого-стратиграфічних комплексів окремих структурно-тектонічних підрозділів Західного нафтогазоносного регіону України. Методика досліджень полягала у комплексному вивченні геологічних об'єктів, яке включало літолого-петрографічні і петрофізичні лабораторні дослідження кернавого матеріалу при нормальних і моделюючих пластові (тиск і температура) умовах, обробку та інтерпретацію даних геофізичних досліджень свердловин, статистичний та математичний аналіз результатів, петрофізичне і геофізичне моделювання.

**Результати та їх обговорення.** Волино-Подільська окраїна Східноєвропейської платформи. Колекторами у кембрійських відкладах є масивні пісковики, пористість яких змінюється від 1,5 до 21 %, а проникність від  $0,02 \cdot 10^{-3}$  до  $114 \cdot 10^{-3}$  мкм<sup>2</sup>. У силурійських відкладах перспективними колекторами є карбонатні породи. Відкрита пористість карбонатних порід у межах рифової зони зазвичай не перевищує 3–4 %. Проникність зразків менша за  $0,02 \cdot 10^{-3}$  мкм<sup>2</sup>. Колекторами нижньодевонських відкладів є піщано-алевритові породи. Відкрита пористість порід змінюється в широких межах від 0,5 до 18 %, а проникність – від практично непроникних до  $35 \cdot 10^{-3}$  мкм<sup>2</sup>. Перспективними колекторами у відкладах верхнього девону є карбонатні породи з вторинною пористістю, яка змінюється від 0,4 до 17 %, а проникність від 0,01 до  $5 \cdot 10^{-3}$  мкм<sup>2</sup>.

**Зовнішня зона Передкарпатського прогину.** У мезозойських відкладах колекторами є теригенні породи з міжзерною пористістю та поровотріщинно-кавернозні карбонатні породи фацій рифового комплексу, у палеозойських і рифейських відкладах – теригенні породи тріщинувато-порового

типу. Пористість піщано-алевритових порід донеогенової основи змінюється в широких межах. Найбільшою пористістю характеризуються піщані породи крейди (0,1–28 %) і верхньої юри (0,4–24,6 %), а найменшою 0,2–6,7 % – пісковики і алевроліти палеозою і рифею. Проникність зразків мезозойських і палеозойських теригенних порід змінюється від  $0,01 \cdot 10^{-3}$  до  $940 \cdot 10^{-3}$  мкм<sup>2</sup>. Колекторами газу у неогенових відкладах є пісковики і алевроліти. Відкрита пористість порід-колекторів становить 8–34 %, а проникність –  $0,1$ – $2000 \cdot 10^{-3}$  мкм<sup>2</sup>. В зонах надгидростатичних пластових тисків ємнісно-фільтраційні властивості покращуються.

**Внутрішня зона Передкарпатського прогину.** У крейдово-палеогеновому фліші розвинуті два типи колекторів: поровий до глибини 4800 м і порово-тріщинний, переважно у нижній частині розрізу. Порові колектори характеризуються такими петрофізичними параметрами: відкритою пористістю більше 4–7 %, проникністю – більше  $0,1$ – $0,5 \cdot 10^{-3}$  мкм<sup>2</sup>. У розрізі простежується петрофізична зональність порід-колекторів, зумовлена структурною перебудовою порового простору та інтенсифікацією катагенетичних процесів при зануренні їх на великі глибини. Максимальна відкрита пористість на глибинах 100–6000 м змінюється від 26 до 12 %, а проникність від  $500 \cdot 10^{-3}$  до  $0,1 \cdot 10^{-3}$  мкм<sup>2</sup>. Ділянки з кращими колекторськими властивостями пов'язані з областями розвитку піщаних фацій. До глибини 3300 м породи перебувають на стадіях початкового та середнього катагенезу, і значного погіршення ємнісно-фільтраційних властивостей порід з глибиною не зафіксовано. Максимальна відкрита пористість порід-колекторів змінюється в межах 26–21 %, а проникність –  $680$ – $102 \cdot 10^{-3}$  мкм<sup>2</sup>. Переважають колектори з малою і середньою пористістю 10–15 %. Колектори з високими ємнісно-фільтраційними властивостями (пористість більше 15 %, проникність більше  $10 \cdot 10^{-3}$  мкм<sup>2</sup>) зустрічаються лише на окремих ділянках з підвищеною піскуватістю і здебільшого приурочені до склепіння складок. На глибинах 4000–4200 м відкрита пористість порід-колекторів зменшується до 8–16 %, а проникність до  $0,1$ – $1,5 \cdot 10^{-3}$  мкм<sup>2</sup>. На глибинах 4500–4800 м максимальні значення пористості і проникності зростають відповідно до 21 % і  $15 \cdot 10^{-3}$  мкм<sup>2</sup>.

**Закарпатський прогин.** У баденському комплексі колекторами є гравеліти, пісковики, алевроліти і, меншою мірою, туфи і туфіти. Відкрита пористість піщаних колекторів становить переважно 8–22 %, а проникність –  $0,02$ – $5,0 \cdot 10^{-3}$  мкм<sup>2</sup>. Відкрита пористість туфогенних порід змінюється від 3,7 до 24,4 %, а проникність від  $0,02 \cdot 10^{-3}$  до  $6,5 \cdot 10^{-3}$  мкм<sup>2</sup>. Основну роль у покращенні ємнісно-фільтраційних властивостей колекторів у підсольовій товщі відіграє тріщинуватість. Колекторами у сарматських відкладах є пісковики і туфові породи. Пористість теригенних колекторів становить 10–20 %, а проникність сягає  $1 \cdot 10^{-3}$  мкм<sup>2</sup>. Пористість туфів і туфітів змінюється в діапазоні 7,1–9 %, а проникність –  $0,02$ – $5,5 \cdot 10^{-3}$  мкм<sup>2</sup>. Колекторами у понтанонських відкладах є піщані породи, відкрита пористість яких становить 9,5–27 %, а проникність –  $0,02$ – $40 \cdot 10^{-3}$  мкм<sup>2</sup>.

**Висновки.** Основними геологічними чинниками, які визначають колекторські параметри колекторів Західного нафтогазоносного регіону України, є умови седиментації і наступні постседиментаційні перетворення. Для теригенних порід це – мінеральний склад, форма, розмір уламкових зерен і пор

та їх взаємне розміщення, тип флюїдонасичення, ступінь катагенетичних перетворень, термодинамічний стан та розломна тектоніка. Основними причинами погіршення колекторських властивостей на стадії глибинного катагенезу є структурні перетворення, які відбуваються з різною інтенсивністю у колекторах різного мінерального складу. На збереження колекторських властивостей порід на глибинах впливає присутність у них вуглеводнів, які сприяють інтенсивнішому розчиненню цементувального матеріалу і виносу його за межі покладу. На властивості колекторів помітно впливають складнонапружений стан, розломна тектоніка, пластові тиски і температури. У зонах надгідростатичних пластових тисків породи розущільнюються і мають кращі ємнісно-фільтраційні властивості. Головними факторами, що суттєво впливають на зміну петрофізичних параметрів карбонатних колекторів з вторинною пустотністю, є: внутрішні – мінливість складу і вмісту мінеральної речовини твердої фази (карбонати, силіцити, глинистість, бітуми); структура пустотного простору (каверни, пори, тріщини); флюїдонасиченість (нафта, газ, конденсат та їх суміші), та зовнішні – тиск і температура. Зони колекторів з покращеними ємнісно-фільтраційними властивостями, їх поширення та потужність контролюються двома факторами різної природи – літолого-фаціальним та структурно-деформаційним.

УДК 550.836:553.98(447)

# **ТЕРМОБАРИЧНІ УМОВИ ПРОДУКТИВНИХ ГОРИЗОНТІВ РОДОВИЩ ВУГЛЕВОДНІВ НАФТОГАЗОНОСНИХ РЕГІОНІВ УКРАЇНИ**

**Олександр ПРИХОДЬКО<sup>a</sup>, Ігор ГРИЦИК<sup>b</sup>, Ігор КУРОВЕЦЬ<sup>c</sup>,  
Павло ЧЕПУСЕНКО<sup>d</sup>, Світлана МЕЛЬНИЧУК<sup>e</sup>, Людмила ПЕТЕЛЬКО<sup>f</sup>**

Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, Львів, Україна  
<sup>a</sup> e-mail: prykhodko.olexandr@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0007-5992-4338>,  
<sup>b</sup> <https://orcid.org/0009-0006-1888-0714>; <sup>c</sup> <https://orcid.org/0000-0002-8062-8994>;  
<sup>d</sup> <https://orcid.org/0009-0007-1825-0314>; <sup>e</sup> <https://orcid.org/0009-0008-0201-6141>;  
<sup>f</sup> <https://orcid.org/0009-0005-3659-9494>

## **THERMOBARIC CONDITION FOR PRODUCING HORIZONS OF HYDROCARBON DEPOSITS OF OIL-GAS REGIONS OF UKRAINE**

**Oleksandr PRYKHODKO<sup>a</sup>, Ihor HRYTSYK<sup>b</sup>, Ihor KUROVETS<sup>c</sup>,  
Pavlo CHEPUSENKO<sup>d</sup>, Svitlana MELNYCHUK<sup>e</sup>, Liudmyla PETELKO<sup>f</sup>**

Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals  
of the NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine

За даними геофізичних досліджень у свердловинах висвітлено результати вивчення взаємозв'язків і взаємообумовленостей між термобаричними умовами і типом флюїдонасиченості продуктивних горизонтів родовищ вуглеводнів нафтогазоносних регіонів України. Розподіл пластових температур ( $T_{пл}$ ) і пластових тисків ( $P_{пл}$ ) на різних глибинах ( $H$ ), середніх геотермічних

градієнтів, глибин залягання ізотерм 423 К та 453 К тісно пов'язані з глибиною геологічною будовою досліджуваних регіонів і підтверджують існуючі уявлення про роль тектонічних, літолого-стратиграфічних, петрофізичних і гідрогеологічних факторів на формування теплового режиму осадових басейнів. Одним з показників, що характеризує термобаричний стан покладів вуглеводнів, є термобаричний коефіцієнт  $K_T = T_{пл}/P_{пл}$  (К/МПа). На фазовий стан вуглеводнів впливає аномальність пластових тисків, яка кількісно характеризується коефіцієнтом гідростатичності  $K_r = P_{пл}/P_y$ , де  $P_y$  – гідростатичний тиск.

З огляду на вимоги щодо обмеження обсягу тез нижче в скороченій формі наведено інформацію про результати досліджень для окремих нафтогазоносних регіонів з використанням робіт, опублікованих нами раніше.

У межах Східного нафтогазоносного регіону України встановлена просторова зональність в розміщенні газових, нафтових і газоконденсатних покладів. Побудована вертикальна зональність розміщення покладів вуглеводнів нафтогазоносних горизонтів за геотермобаричними параметрами у 8 з 15 районів, а саме: Монастирищенсько-Софіївського і Талалаївсько-Рибальського нафтогазоносних, Глинсько-Солохівського газонафтоносного, Рябухинсько-Північноглубівського і Машівсько-Шебелинського газонасних, Руденківсько-Пролетарського нафтогазоносного, Красноріцького газонасного районів, а також нафтогазоносного району північного борту. Як приклад, розглянемо Талалаївсько-Рибальський нафтогазоносний район. У вертикальному розрізі виділено зони фазового стану вуглеводнів: *верхня* (нафтові і газоконденсатні поклади) характеризується такими параметрами:  $T_{пл}$  змінюються від 312,0 до 366,0 К,  $P_{пл}$  – від 13,6 до 31,0 МПа;  $K_T$  – від 11,42 до 22,94,  $H$  розташування зони – від 1312,0 до 2996,0 м; *середня* (нафтові, газоконденсатні, газові та нафтогазові поклади) –  $T_{пл}$  у межах 345,0–417,0 К,  $P_{пл}$  – від 31,1 до 53,4 МПа;  $K_T$  – від 7,47 до 12,07; глибина ( $H$ ) розміщення зони – від 2998,0 до 4690,0 м; *нижня* (газоконденсатні поклади) – для даної зони характерні значення  $T_{пл} > 404,0$  К;  $P_{пл} > 57,47$  МПа;  $K_T$  – від 8,02 до 4,97 при  $H > 4709,0$  м. За  $K_r$  поклади вуглеводнів у розрізі розташовуються наступним чином: *нафтові* від 1,00 до 1,20 на  $H$  від 1472,0 до 5088,0 м, *газоконденсатні* – від 1,0 до 1,6 на  $H > 1312,0$  м; *газові* – 1,05–1,14 на  $H$  від 3271,0 до 4261,0 м та *нафтогазові* – 1,05–1,06 на  $H$  від 2998,0 до 3152,0 м. Розвідані *нафтові* поклади (48,1 %) характеризуються наступними геотермобаричними параметрами:  $T_{пл}$  змінюються від 313,0 до 397,0 К,  $P_{пл}$  – від 14,20 до 56,15 МПа;  $K_T$  – від 6,86 до 22,39;  $K_r$  – від 1,0 до 1,20. Глибина розвіданих нафтових покладів змінюється від 1472,0 до 5088,0 м. *Газові* поклади (3,4 %) виявлені в діапазоні  $H$  від 3271,0 до 4261,0 м та їм властиві  $T_{пл}$  від 359,0 до 385,0 К;  $P_{пл}$  – від 35,38 до 47,65 МПа; значення  $K_T$  – від 8,0 до 10,15;  $K_r$  – від 1,05 до 1,14. Для *газоконденсатних* покладів (48,5 %) встановлені наступні геотермобаричні параметри: діапазон  $T_{пл}$  – від 314,0 до 418,0 К;  $P_{пл}$  – від 13,80 до 83,90 МПа;  $K_T$  – від 5,01 до 22,94;  $K_r$  – від 1,00 до 1,23.

У Південному нафтогазоносному регіоні в межах Переддобрудзької, Причорноморсько-Кримської, Азовсько-Березанської, Індоло-Кубанської, Чорноморської перспективних нафтогазоносних областей дано характеристику розподілу температур на різних глибинних зрізах, геотермічних градієнтів та

термобаричних параметрів покладів вуглеводнів. За термобаричними даними у Південному нафтогазоносному регіоні виділяються три зони: *нафтова* ( $T_{пл} - 340-370$  К;  $P_{пл} - 15,0-30,0$  МПа); *газоконденсатна* ( $390 > T_{пл} > 320$  К;  $36,0 > P_{пл} > 16,5$  МПа) та *газова* ( $T_{пл} - 291-425$  К;  $P_{пл} - 0,9-45,0$  МПа). За коефіцієнтом гідростатичності та термобаричним коефіцієнтом зони знаходяться в межах значень: *нафтова* –  $1,2 > K_T > 0,9$ ;  $21,7 > K_T > 12,3$  К/МПа при  $2500 > H > 1770$  м; *газоконденсатна* –  $1,2 > K_T > 1,7$ ;  $10,8 < K_T < 19,3$  К/МПа при  $2910 > H > 1400$  м та *газова* –  $0,9 < K_T < 1,8$ ;  $143 > K_T > 9,84$  К/МПа при  $4420 > H > 70$  м. У шельфовій області регіону виділяються дві зони: *верхня* – газова (глибини сягають до 1000 м,  $K_T$  змінюється від 25 до 70), *нижня* – газоконденсатна ( $K_T$  змінюється від 10 до 25,  $K_T > 1,2$  при  $H > 1000$  м у відкладах нижнього палеогену).

У Західному нафтогазоносному регіоні проаналізовано розміщення покладів вуглеводнів у вертикальному розрізі залежно від термобаричних коефіцієнтів продуктивних горизонтів Волино-Подільської, Передкарпатської, Карпатської нафтогазоносних та Закарпатської газоносної областей. Побудовано залежність термобаричного коефіцієнта від глибини залягання продуктивних горизонтів нафтових та газових родовищ Зовнішньої та Внутрішньої зон Передкарпатського прогину. Термобаричний коефіцієнт в зоні розвитку нафтових та газоконденсатних родовищ змінюється від 10 до 25 К/МПа, а газових – від 20 до 50 К/МПа. Тенденція зміни з глибиною фазового стану вуглеводнів до глибини 5 км не спостерігається. На більших глибинах слід очікувати заміни нафтових покладів газоконденсатними і газовими. Термобаричне поле має низку особливостей, зумовлених складною геологічною будовою, блоковою і насувною тектонікою, спостерігається велика строкатість у значеннях пластових тисків і пластових температур як у комплексах різних блоків, так і в межах одного блоку, здебільшого пластові тиски перевищують умовні гідростатичні. За значенням величин пластових температур з глибиною у вертикальному розрізі виділяються: зона нафтових, нафтогазових та нафтогазоконденсатних покладів у інтервалі глибин до 3800 м і значеннями пластових температур до 370 К; зона нафтових покладів вуглеводнів в інтервалі глибин  $> 3800$  м та значеннями пластових температур  $> 370$  К.

На основі вивчення особливостей взаємозв'язку між пластовими тисками і пластовими температурами з одного боку та фазовим станом вуглеводнів з іншого – встановлено термобаричні критерії для прогнозу нафтових, нафтогазових і газових покладів регіонів України. Виявлені та наведені закономірності розподілу покладів вуглеводнів у нафтогазоносних регіонах України за термобаричними параметрами дають змогу більш ґрунтовно вирішувати теоретичні проблеми, пов'язані з міграцією вуглеводнів, формуванням і збереженням їхніх покладів, та підвищувати ефективність пошуково-розвідувальних робіт, в т. ч. на великих глибинах.

**ТЕОРЕТИКО-ЕМПІРИЧНА МЕТОДИКА ПРОГНОЗУВАННЯ  
НАФТОГАЗОНОСНОСТІ РОЗРІЗІВ СВЕРДЛОВИН  
ЗА КАРОТАЖНИМИ І КЕРНОВИМИ ДАНИМИ**

**Людмила СКАКАЛЬСЬКА<sup>а</sup>, Андрій НАЗАРЕВИЧ<sup>б</sup>**

Карпатське відділення Інституту геофізики ім. С. І. Субботіна НАН України,  
Львів, Україна

<sup>а</sup> e-mail: skakalska.sbigph@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-0383-7290>

<sup>б</sup> e-mail: nazarevych.a@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-1989-0790>

**THEORETICAL AND EMPIRICAL METHOD  
FOR PREDICTING THE OIL AND GAS POTENTIAL  
OF WELL SECTIONS  
ON WELL LOGGING AND CORE DATA**

**Lyudmyla SKAKALSKA<sup>а</sup>, Andriy NAZAREVYCH<sup>б</sup>**

Carpathian Branch of S. I. Subbotin name Institute of Geophysics  
of the NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine

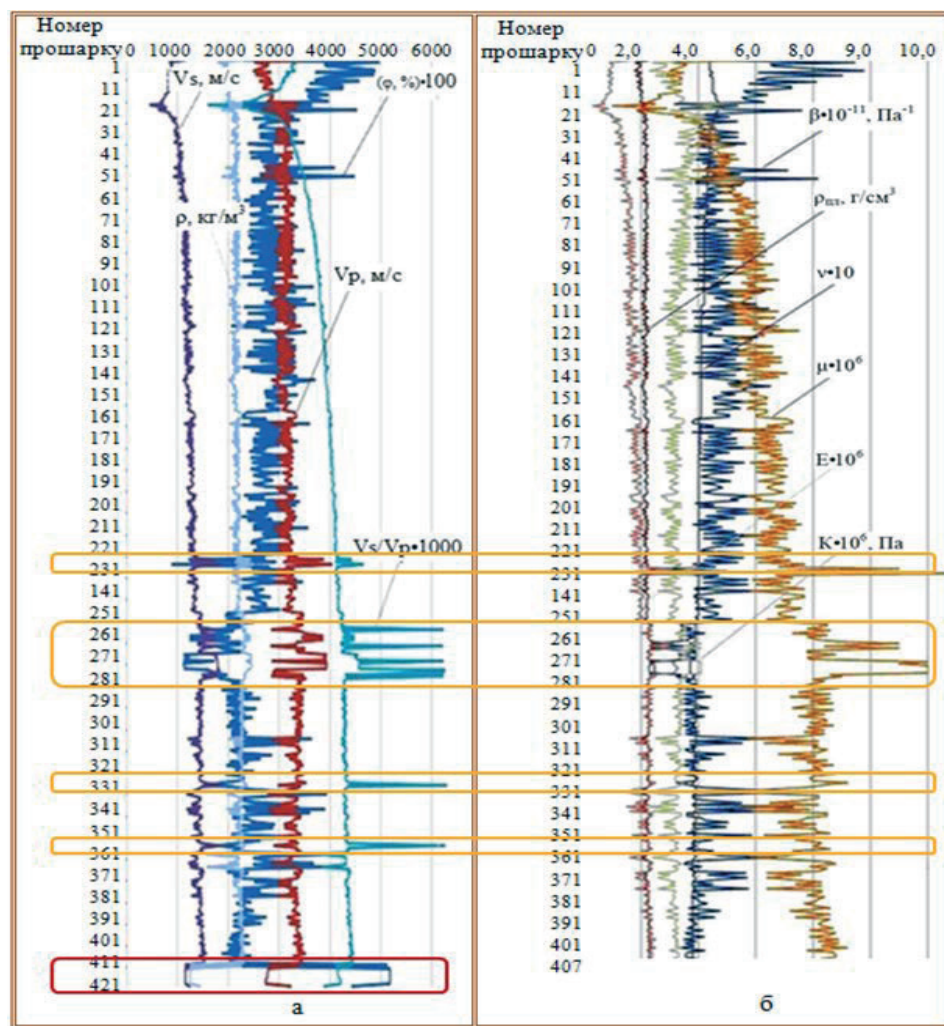
Представлено розроблену теоретико-емпіричну методику прогнозування нафтогазоносності розрізів свердловин за даними акустичного та інших каротажів і кернових досліджень та її варіанти (Скакальська, 2021; Скакальська та ін., 2018; Skakalska et al., 2021). Методика базується на адекватній фізико-математичній моделі твердої пористої гірської породи, емпіричних співвідношеннях між пружними і колекторськими характеристиками гірських порід і даних акустичного (АК) чи сейсмічного (СК) каротажу по конкретних досліджуваних свердловинах, з використанням, як ключового у розрахунках, параметра стисливості порід.

Основою методики є фізико-математична модель гірської породи, розроблена Т. З. Вербицьким з колегами, яка добре враховує вплив тиску (глибини), пористості, нелінійно-параметричні пружні ефекти та ін. (Скакальська, 2021; Скакальська та ін., 2018).

Емпіричні кореляційні співвідношення між фізичними та колекторськими характеристиками порід побудовано за даними параметричної бази характеристик порід-колекторів конкретних нафтогазоносних територій з використанням математико-статистичних методів обробки даних ГДС і кернових досліджень (Скакальська, 2021; Скакальська та ін., 2018).

На основі об'єднаних теоретичних та емпіричних співвідношень побудовано результуючий прогностичний функціонал, який дає можливість визначати пористість і розрізняти тип флюїду (газ, нафта, вода) у порах породи-колектора розрізу свердловини. Розрахунок ведеться по умовних прошарках розрізу свердловини з кроком наявності каротажних даних (до 0,1 м) [1–3].

Для більш надійного розрізнення типу флюїду – заповнювача пор (газу, нафти, води), особливо, у прошарках із зниженою до 4–6 % пористістю, у методиці реалізовано його визначення за стисливістю, за швидкостями пружних хвиль, за розрахованою густиною флюїду – заповнювача пор (Скакальська, 2021; Скакальська та ін., 2018; Skakalska et al., 2021).



Результати прогнозування за методикою – свердловина 4-Північно-Зарічнянська (0–1220 м)

Для випадків відсутності даних АК і СК для конкретних свердловин чи глибинних інтервалів їх розрізів розроблено варіанти прогнозної методики з використанням даних інших каротажів (зокрема даних гамма-каротажу, електричного каротажу, методу самочинної поляризації, методу офсетів) і відповідних кореляційних залежностей (Скакальська, 2021; Скакальська та ін., 2018; Skakalska et al., 2021).

Для практичної реалізації створеної прогнозної методики розроблено відповідні алгоритми розрахунків і створено відповідні програмні пакети у середовищах *Fortran* та *Excel* (Скакальська, 2021; Скакальська та ін., 2018; Skakalska et al., 2021).

Методику апробовано на реальних даних розрізів ряду свердловин Ліщинської, Бучацької, Лудинської, Залужанської, Зарічнянської, Никловицької, Орховицької структур Західного нафтогазоносного регіону України (див., для прикладу, результати прогнозування по свердловині 4-Північно-Зарічнянська на рисунку). Підтверджено та уточнено результати попередніх

досліджень. У розрізах виявлено нові нафтогазоперспективні шари та про-  
шарки, непроникні шари – екрани та покритишки (Скакальська, 2021; Скакаль-  
ська та ін., 2018; Skakalska et al., 2021).

1. Скакальська, Л. В. (2021). *Прогнозування пружних характеристик та нафтогазо-  
водонасиченості порід у розрізах свердловин за даними акустичного каротажу  
і кернових досліджень* [Автореф. дис. канд. фіз.-мат. наук, ІГФ НАН України].  
Київ.
2. Скакальська, Л. В., Назаревич, А. В., & Косарчин, В. І. (2018). Теоретико-емпірична  
методика прогнозування вуглеводнів у розрізах свердловин з базовим пара-  
метром – стисливістю. *Мінеральні ресурси України*, 4, 18–25. [https://doi.org/10.31996/  
mru.2018.4.18-25](https://doi.org/10.31996/mru.2018.4.18-25).
3. Skakalska, L., Nazarevych, A., & Kosarchyn, V. (2021). The theoretical-empirical tech-  
nique of hydrocarbons prediction in wells sections. New aspects. *Геофізичний жур-  
нал*, 43(1), 160–180. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v43i1.2021.225545>

## ***Енергоефективні геотехнології розробки некондиційних покладів горючих копалин***

---

УДК 338.94:621.3

### **ТРАНСФОРМАЦІЯ НАПРЯМІВ ПАТЕНТНОЇ РОБОТИ В ІНСТИТУТІ (2000–2025 РР.) В КОНТЕКСТІ ЄВРОПЕЙСЬКОГО ЕКОЛОГІЧНОГО ПЕРЕХОДУ**

**Олег ГВОЗДЕВИЧ<sup>a</sup>, Наталія БАЦЕВИЧ<sup>b</sup>**

Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, Львів, Україна

<sup>a</sup> e-mail: senslviv@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0002-7584-8116>

<sup>b</sup> e-mail: natalja\_bats@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0002-0644-5364>

### **TRANSFORMATION OF PATENT ACTIVITIES AT THE INSTITUTE (2000–2025) IN THE CONTEXT OF THE EUROPEAN GREEN TRANSITION**

**Oleh HVOZDEVYCH<sup>a</sup>, Nataliia BATSEVYCH<sup>b</sup>**

Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals  
of the NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine

**Вступ та актуальність дослідження.** Глобальні кліматичні виклики, зумовлені підписанням Паризької угоди та реалізацією європейського курсу “Green Deal” (European Commission, 2019), вимагають докорінної перебудови традиційного паливно-енергетичного сектору. Для України, яка володіє значним депресивним фондом закритих вугледобувних підприємств, критично важливим є пошук інноваційних рішень щодо трансформації цих об’єктів. Одним із найбільш об’єктивних маркерів, що відображають науково-технологічний потенціал та пріоритети розвитку прикладної науки у цьому напрямі, є динаміка патентно-винахідницької діяльності провідних науково-дослідних установ.

**Метою даного дослідження** є системний аналіз структури, динаміки та змістовна еволюція винахідницької роботи Інституту за останні 25 років (у період з 2000 по 2025 рік) для визначення перспективних векторів науково-технологічного розвитку та оцінки їх відповідності сучасним міжнародним екологічним вимогам.

**Методика та матеріали.** Інформаційною базою дослідження стали офіційні патентні бази даних УКРНОІВІ (<https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/simple/>). Застосовано методи статистичного аналізу, класифікації за технологічними напрямками, а також метод патентного ландшафту для виявлення різнопланових неочевидних технологічних трендів. Порівняльний аналіз проводився за п’ятьма часовими інтервалами (диверсифікованими по 5 років), що дало змогу нівелювати випадкові річні коливання активності патентування.

**Результати дослідження та їх обговорення.** У зведений масив даних винахідницької діяльності за 25 років нами вибрано 64 зареєстровані патенти України на винаходи (корисні моделі) за наступними профільними екологічними та геотехнологічними напрямками (таблиця).

**Динаміка кількості тематичних патентів України за 2000–2025 рр.**

| Тематика винаходів                                     | 2000–<br>2005<br>рр. | 2006–<br>2010<br>рр. | 2011–<br>2015<br>рр. | 2016–<br>2020<br>рр. | 2021–<br>2025<br>рр. | <i>Всього<br/>за роки</i> |
|--------------------------------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------------------|
| Геотехнологія                                          | 2                    | 1                    |                      | 2                    |                      | 5                         |
| Термохімічна переробка вугілля                         | 4                    | 1                    | 2                    | 7                    | 3                    | 17                        |
| Використання геологічних пост-<br>майнінгових об'єктів | 3                    |                      |                      |                      | 6                    | 9                         |
| Пристрої для інтенсифікації<br>нафтовидобутку          | 5                    |                      |                      |                      |                      | 5                         |
| Дегазація теригенних об'єктів та<br>території          | 14                   | 4                    | 2                    |                      |                      | 20                        |
| Екологія території                                     | 3                    | 2                    |                      |                      |                      | 5                         |
| Пошук корисних копалин                                 |                      |                      |                      |                      | 3                    | 3                         |
| <b>Всього за роки</b>                                  | <b>31</b>            | <b>8</b>             | <b>4</b>             | <b>9</b>             | <b>12</b>            | <b>64</b>                 |

Отримані статистичні дані свідчать про виражену хвилеподібну динаміку винахідницької активності. Максимум патентування зафіксовано на початку оглядового періоду (2000–2005 рр. – 31 патент, або 48 % від загального масиву). Абсолютним домінуючим напрямом цього періоду була «Дегазація теригенних об'єктів та території» (14 одиниць). Така активність безпосередньо корелювала із розгортанням масштабних прикладних проектів та залученням фінансування під технології безпечного вилучення метану з полігонів твердих побутових відходів (ТПВ) за Програмами ЄС INTERREG Польща Білорусь – Україна.

Зростання активності у написанні патентів в напрямі «Термохімічна переробка вугілля» (пік у 2016–2020 рр. – 7 патентів) було зумовлене успішним виграшем та виконанням колективом відділу міжнародного європейського гранту. Наукова робота у межах гранту дозволила створити базу рішень для екологічно безпечної та глибокої переробки твердого палива.

Найбільш значущим сучасним вектором (період 2021–2025 рр.) стало стрімке відновлення патентної активності (до 12 одиниць) та якісна зміна парадигми досліджень. На тлі повного згорання робіт за традиційними напрямками (інтенсифікація нафтовидобутку, загальна екологія території), ключовим трендом стало «Використання геологічних постмайнінгових об'єктів» (6 патентів, близько 67 % від усього обсягу за цією тематикою).

Сутність розроблених інноваційних постмайнінгових технологій полягає у залученні виробленого простору та геологічних пластів закритих шахт як природних герметичних реакторів. Технологічний цикл передбачає керуване закачування технологічних газів у підземні пласти з їх подальшим перетворенням і вилученням на поверхню для наземного синтезу висококілківної безвуглецевої продукції – зеленого аміаку та метанолу. Паралельно зафіксовано появу нового супутнього напрямку «Пошук корисних копалин» (3 патенти), а також досліджень, спрямованих на геологорозвідку нових структур під підземні резервуари для використання їх в інноваційних технологічних цілях. До прикладу, пропонується Комплекс містить наземну біогазову станцію та

сховище зі свердловинами для роздільного закачування, зберігання та видобутку біогазу і діоксиду вуглецю, модулі дегазації пластової води та розділення газів, синтезу аміаку, отримання метанолу та диметилового етеру.

**Висновки.** Починаючи з 2000 р., після виконання і завершення 100 науково-дослідних тем (відомчих фундаментальних та прикладних, програмно-цільових та конкурсних тематик НАН України) отримано 77 патентів на корисну модель, а за 75 років Інституту – більш як 100, включаючи патенти, деклараційні патенти та авторські свідоцтва.

Проведений аналіз 25-річного вибраного масиву інтелектуальної власності Інституту (64 патенти із 77) довів наявність чіткої траєкторії переходу від класичних природоохоронних рішень (дегазація ТПВ) до технологій циркулярної економіки.

Період 2021–2025 рр. відзначився технологічним проривом у сфері тематики постмайнінгу. Створено комплекс патентно-захищених рішень підземної утилізації газів із супутнім виробництвом екологічно чистого палива (зеленого аміаку та метанолу).

Сучасні патентні розробки Інституту повністю інтегровані в європейський контекст декарбонізації, що відкриває широкі перспективи для подальшої комерціалізації розробок у процесі реструктуризації вугільних регіонів України.

Неодноразово від початку заснування Інституту (з 1951 р.) Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України отримував Першу премію по Відділенню наук про Землю НАН України, а науковці Інституту отримували звання «Винахідник року Національної академії наук України» відповідно до оголошених конкурсів НАН України за досягнення найкращих показників у винахідницькій роботі, створенні, охороні та використанні об'єктів інтелектуальної власності.

І 2026 рік відзначився високою винахідницькою активністю науковців Інституту. Зокрема, до Українського національного офісу інтелектуальної власності та інновацій (УКРНОІВІ) уже подано сім заявок на патентування корисних моделей, що є високим показником патентної діяльності за цей період. Такі результати суттєво підвищують рейтинг установи та закріплюють за Інститутом статус одного з лідерів у сфері патентної та винахідницької діяльності в Національній академії наук України по Відділенню наук про Землю.

European Commission. (2019). *The European Green Deal* (COM(2019) 640 final). Brussels: European Commission.

Спеціальна інформаційна система УКРНОІВІ. Взято 26.06.2026. Взято 27.06.2025: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/simple/>

## **ВУГІЛЛЯ ЯК СИРОВИНА ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ЕНЕРГІЇ ТА ХІМІЧНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ**

**Соломія КАЛЬМУК<sup>а</sup>, Дмитро БРИК<sup>б</sup>**

Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, Львів, Україна

<sup>а</sup> e-mail: solomiya.kalmuk@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-1350-9696>

<sup>б</sup> e-mail: dmytrobryk@ukr.net; <http://orcid.org/0000-0003-2352-9911>

## **COAL AS A RAW MATERIAL FOR ENERGY PRODUCTION AND THE CHEMICAL INDUSTRY**

**Solomiya KALMUK<sup>a</sup>, Dmytro BRYK<sup>b</sup>**

Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals  
of the NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine

В останні десятиліття глобальні зміни навколишнього природного середовища стали стримуючим фактором розвитку суспільства, що потребує поглибленого аналізу та розроблення наукових підходів щодо зменшення негативного техногенного впливу на екологію у світі та в Україні. Зростаючі потреби енергозабезпечення розвитку світової економіки спричинили тенденцію до економії енергетичних ресурсів і пошуку способів та технологій підвищення ефективності використання первинних енергоносіїв.

На сьогодні загальний обсяг споживання первинної енергії у світі збільшується. Впродовж 2011–2021 рр. споживання первинної енергії у світі зросло на 14,25 %. До 2019 р. спостерігалось поступове збільшення цього показника, у 2020 р. процес дещо сповільнився у зв'язку з пандемією COVID-19, а вже у 2021 р. рівень споживання первинної енергії повернувся до докризового рівня. Зросло виробництво паливно-енергетичних ресурсів. Найбільших змін зазнало виробництво відновлювальної енергії, яка за 10 років збільшилася більше ніж в чотири рази, це свідчить про перехід на альтернативні методи використання енергії природних джерел. Виробництво вугілля збільшилося лише на 3,54 %. Найменших змін у виробництві зазнала атомна енергія (Когут-Ференс, 2022).

Основу в структурі світового енергетичного ринку посідає традиційна енергетика. Найбільш популярними ресурсами в сучасних реаліях є газ, нафта і вугілля. Важливими природними енергетичними ресурсами у світі є вугілля і природний газ. Беззаперечним лідером у світі серед видобутку вугілля є Китай, а також США, Австралія та Індія.

За останні 20 років попит на енергію збільшився на 15 %, але 40 % цього зростання було досягнуто завдяки чистій енергії, тобто поновлюваним джерелам енергії, ядерній енергії та паливним матеріалам із низьким рівнем викидів, включно з уловлюванням, використанням і зберіганням вуглецю. Попит на нафту досяг пікового значення у 2005 р., вугілля – у 2008 р., попит на газ теж перестав зростати. У 2023 році викопне паливо забезпечило 60 % світового виробництва електроенергії – це найнижча частка від загального обсягу за останні 50 років. На вугілля припадає найбільша частка в загальному обсязі – 36 %, при цьому значну роль також відіграє природний газ – 22 %.

Частка ядерної енергетики знизилася на 9 %, що вдвічі менше, ніж 30 років тому. Попри зниження вироблення гідроелектроенергії, відновлювані джерела енергії вперше досягли 30 % світового виробництва електроенергії, а вітрова та сонячна фотоелектрична енергія разом забезпечують 13 %, що вдвічі перевищує рівень того, що було п'ять років тому (Романчук, 2025).

Спеціалісти Міжнародної енергетичної агенції (МЕА) наводять дані, що до 2027 року споживання електроенергії зростатиме в середньому на 4 % щорічно. Зазначено, що у 2024 р. світовий попит на електроенергію зріс на 4,3 % і, за прогнозами, такий темп зростання зберігатиметься до 2027 р. Цей підвищений попит зможуть задовільнити відновлювальні джерела енергії (ВДЕ) та ядерна енергетика. Очікується, що світове споживання електроенергії зростатиме найшвидшими темпами з 2025 по 2027 рік (Велика, 2025).

Прогноз та споживання деяких видів енергії до 2050 р. наведено у роботі (Брик та ін., 2006), де показано тенденцію зросту світового видобутку вугілля до 2050 р., нафти – зріст до 2010 р., а потім спад, газу – зріст до 2025 р., потім теж спад.

Зауважимо, що, навіть при нарощуванні виробництва енергії шляхом залучення джерел «зеленої» енергетики, світ загалом та Україна зокрема не може цілком відмовитися від вугілля – як сировини для виробництва енергії у найближчих десятиліттях, так і сировини для хімічної промисловості у подальшому через 40–50 років при значному зменшенні або вичерпанні запасів нафти і газу. Україна належить до енергодефіцитних держав, оскільки власне виробництво первинних енергоресурсів покриває валове споживання лише на 53 %. При середньому видобутку енергетичних копалин на рік: нафти – 2 млн т, газу – 21 млрд м<sup>3</sup>, вугілля – 28,9 млн т, імпорт нафти, нафтопродуктів і частково газу становить близько 80 % від потреб. Структура запасів викопного палива в Україні виглядає таким чином: вугілля складає 94–97 %, нафта і газ – 6–3 %, тобто вугільні ресурси значно переважають за запасами усі інші.

Україна не зможе швидко відмовитися від виробництва електроенергії на теплових електростанціях; і не лише через те, що теплова генерація виконує роль маневрових потужностей для енергосистеми та є економічно конкурентною, але й тому, що декарбонізація та перехід енергетики на відновлювальні джерела енергії коштують дорого, тому їх можуть собі дозволити лише багаті індустріально розвинені країни. У цих умовах основними напрямками розвитку енергетики в Україні будуть підвищення енергоефективності, енергозбереження та екологічні технології використання паливно-енергетичних ресурсів з поступовими декарбонізацією та переходом до зеленої енергетики. Незважаючи на впровадження в Україні альтернативних і відновлюваних джерел енергії, пріоритетним напрямом соціально-економічного розвитку залишається збільшення видобутку вуглеводнів загалом і вугілля зокрема.

Прогнозовані запаси вугілля в Україні складають близько 117 млрд т, розвідані – 57 млрд т, що при довоєнному середньорічному видобутку 28,9 млн т (2020 р.) може забезпечити потреби економіки протягом сотень років, причому некондиційні (позабалансові) запаси вугілля складають більше 40 млрд т. Ресурси нафти та газу в Україні незначні в порівнянні з потребами.

Енергетична проблема в нашій країні повинна вирішуватися як шляхом зниження частки нафти та газу як палива і заміни їх вугіллям, так і прискореним впровадженням альтернативних та відновлювальних джерел енергії.

- Брик, Д. В., Павлюк, М. І., & Макітра, Р. Г. (2006). Синтетичне паливо з вугілля – перспективний замінник нафти і природного газу. *Углемический журнал*, 3–4, 3–9.
- Велика, Г. (2025, 14 лютого). *ВДЕ та ядерна енергетика зможуть покрити приріст світового попиту на електроенергію*, – МЕА. Екополітика. <https://ecopolitic.com.ua/ua/news/vde-ta-yaderna-energetika-zmozhut-pokriti-pririst-svitovogo-popitu-na-elektroenergiju-mea/>
- Когут-Ференс, О. І. (2022). Світовий ринок енергетики: сучасний стан. *Таврійський науковий вісник. Серія. Економіка*, 13, 30–36. <https://doi.org/10.32782/2708-0366/2022.13.3>
- Романчук, Я. (2025, 10 березня). *Енергетика: світові тенденції 2025. Дослідження світового ринку виробництва енергії. Глобальний контекст для створення енергетичної стратегії України*. International Liberty Institute. <https://www.ilibertyinstitute.org/articles/energetika-svitovi-tendencziyi-2025>

UDC 622.691(075.8)

## **DECARBONIZATION THROUGH REPURPOSING: AN INTEGRATED SYSTEM FOR THE UNDERGROUND STORAGE AND USE OF BIOGAS AND LIQUID CARBON DIOXIDE**

**Oleh HVOZDEVYCH**

Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals  
of the NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine  
e-mail: senslviv@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0002-7584-8116>

## **ДЕКАРБОНІЗАЦІЯ ШЛЯХОМ ПЕРЕПРОФІЛЮВАННЯ: ІНТЕГРОВАНА СИСТЕМА ДЛЯ ПІДЗЕМНОГО ЗБЕРІГАННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ БІОГАЗУ І РІДКОГО ДІОКСИДУ ВУГЛЕЦЮ**

**Олег ГВОЗДЕВИЧ**

Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, Львів, Україна

**Introduction.** The decarbonisation process involves a comprehensive set of technical measures aimed at reducing harmful carbon dioxide emissions into the atmosphere. For instance, at the Sleipner West offshore field in Norway, a project has been implemented for the long-term storage of CO<sub>2</sub> in an underground geological repository and its subsequent terrestrial application, known as Carbon Capture, Utilisation and Storage (CCUS). In the United States, CCUS technology is employed for enhanced oil recovery, where CO<sub>2</sub> is injected into depleted reservoirs, as well as for the production of methanol and other types of synthetic fuels.

**Level of technology.** Underground CO<sub>2</sub> storage facilities must be located in zones that ensure a minimal level of impact on the subsurface, soil, atmosphere, and water resources. The design of all components of an underground storage facility, along with their operational technology, must guarantee the lowest possible anthropogenic impact on the natural environment. Following transportation, CO<sub>2</sub> is stored in porous geological formations, typically situated at depths exceeding 800 metres, where pressure and temperature conditions force the CO<sub>2</sub> to remain in

a liquid or dense state. Suitable storage sites include depleted oil and gas fields, as well as deep saline formations. It should be noted that CO<sub>2</sub> is increasingly considered an alternative carbon source to fossil resources. Future prospects for reducing CO<sub>2</sub> emissions will also encompass the development of new strategies for utilising carbon dioxide in the energy sector and for synthesizing high-value chemicals. Existing methods for the co-production of methanol and ammonia generally involve parallel processes, in which a shared reforming section is used to generate syngas. This syngas is subsequently divided into separate parallel streams (Han, 2023): one is used for methanol synthesis (with hydrogen and carbon dioxide serving as feedstock), while the other is designated for ammonia synthesis (utilising hydrogen and nitrogen as feedstock). The restructuring of the mining industry in the context of decarbonisation leads to the closure of coal mines, which prompts an analysis of the feasibility of repurposing these abandoned mines into underground gas storage (UGS) facilities. International experience demonstrates the potential for storing natural gas within mine voids and inside the pores of coal seams. However, developing UGS facilities in abandoned mines poses risks of environmental alteration during their operation. Previous studies have described two potential locations for such underground gas storage and presented an economic evaluation of the required investments. Furthermore, the feasibility of converting a mine into an underground gas storage facility in Upper Silesia (Poland) has been well-documented in the literature (Siemek & Nagy, 2007). In Ukraine, there is already an existing precedent of biogas disposal within a geological structure for accumulation and subsequent utilisation; therefore, technical interest in the simultaneous (co-disposal) storage of biogas and CO<sub>2</sub> arises from the need to enhance energy utilisation efficiency and due to the higher market value of methanol and other refined products. Consequently, methods for the establishment, operation, and reconstruction of underground gas storage facilities in depleted gas, gas condensate, and oil reservoirs, as well as in aquifers, have been successfully implemented in Ukraine (for instance, at the Uherske facility, established in 1969). These methods encompass the drilling of injection and production wells into the formation, the injection of gas into the productive reservoir, and its subsequent extraction.

An underground CO<sub>2</sub> storage complex must comprise a structural trap, monitoring horizons above the reservoir formation, and injection-production wells designated for various technological purposes. These purposes include gas injection, the extraction of formation water and gas from the storage facility, and the monitoring of storage integrity. Additionally, the complex must incorporate gas purification and monitoring modules, intra-field pipelines, gas gathering manifolds, a pipeline connecting the underground storage to a transmission main or a local gas supply network, as well as power and water supply modules, among other components.

We propose the creation of a post-mining integrated complex based on at least a two-reservoir underground storage facility within a geological structure designed for a multi-cyclic gas injection-extraction regime, specifically for the separate injection of biogas and liquid carbon dioxide into the reservoir formations (Hvozdevych et al., 2026). The technical benefit of injecting CO<sub>2</sub> into the reservoir formations in a liquid state – utilising the hydraulic fracturing effect – lies in the creation of new, extensive channel networks within the geological structure. This increases rock fracturing, thereby enhancing the capacity of the underground

gas storage (UGS) facility. Following an analysis of the hydrogeological conditions, structural-tectonic features, and filtration properties of the strata promising for UGS development, the selected underground storage facility will be utilised in accordance with the developed method for multi-cyclic, separate injection of biogas and carbon dioxide into its reservoir formations under cyclic UGS operational conditions. The subsequent phase involves the separate extraction of gases (biogas and carbon dioxide) through distinct well networks, depending on consumer demand. The inclusion of a surface module within the complex for formation water degassing and gas separation into two streams serves to facilitate their post-purification utilisation for technological purposes. Specifically, the water is used for hydrogen generation in an electrolyser, whilst the gases are allocated as follows:  $\text{CO}_2$  and  $\text{H}_2$  are synthesised into methanol, and the combustible fraction ( $\text{CH}_4$ ) is fed into a gas-piston cogeneration unit to produce electricity, hot water, or steam. The ammonia synthesis module incorporates a steam generator designed to produce steam at temperatures of 150–170 °C from formation water, which reduces energy consumption during  $\text{H}_2$  generation in a solid oxide electrolyser cell (SOEC). Hydrogen, along with nitrogen, serves as a feedstock for the production of ammonia ( $\text{NH}_3$ ) in the dedicated synthesis module utilising the Haber-Bosch process according to the reaction scheme:  $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \rightarrow 2\text{NH}_3$ . By extracting carbon dioxide from the storage facility, methanol is produced in a separate module according to the scheme:  $\text{CO}_2 + 3\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O}$ .

**Conclusion.** The techno-economic advantages of the proposed post-mining complex include enhanced process energy efficiency achieved by utilising a multi-reservoir depleted gas or gas condensate field within the complex for the simultaneous disposal of technological  $\text{CO}_2$  and beneficial biogas or biomethane. These gases are subsequently converted into ammonia, methanol, dimethyl ether (DME), and other valuable products. Given that the operation of the post-mining complex actively utilises the carbon dioxide ( $\text{CO}_2$ ) sequestered during the initial stage – which would otherwise pollute the atmosphere as a greenhouse gas – the implementation of the proposed complex is both economically viable and environmentally sound. At this stage of the research, a conceptual techno-economic assessment indicates that the project's financial viability relies on infrastructure repurposing and process synergy. By utilizing depleted fields, we significantly minimize CAPEX (Capital Expenditure). Furthermore, the integration of high-temperature steam from formation water optimizes the OPEX (Operating Expenses) of hydrogen production. This allows us to establish a circular economy model where  $\text{CO}_2$  is transformed from an environmental liability into a valuable commercial feedstock.

- Han, P. A. (2023). *Process for the co-production of methanol and ammonia* (Ukrainian Patent No. 127220). State Intellectual Property Office of Ukraine. [in Ukrainian with English summary]
- Hvozdevych, O. V., Poberezhskyi, A. V., Podolskyi, M. R., Rodin, L. M., & Kharytonov, V. S. (2026). *Post-mining integrated complex for underground storage and utilization of biogas and carbon dioxide* (Ukrainian Utility Model Patent No. 162588). State Intellectual Property Office of Ukraine. [in Ukrainian with English summary]
- Siemek, J., & Nagy, S. (2007). Podziemne magazyny gazu ziemnego w wyeksploatowanych kopalniach węgla. *Wiertnictwo, Nafta, Gaz*, 24(2), 527–535.

**Екологічні проблеми  
при пошуках, розвідці та експлуатації  
родовищ горючих копалин**

---

УДК 553.96 (477.8)

**ПОТЕНЦІАЛ ВИКОРИСТАННЯ  
ВІДВАЛІВ ВИДОБУТКУ БУРОГО ВУГІЛЛЯ  
ЯК ТЕХНОГЕННИХ ОБ'ЄКТІВ**

**Ірина БУЧИНСЬКА<sup>a</sup>, Оксана СТУПКА<sup>b</sup>, Любомир САВЧИНСЬКИЙ<sup>c</sup>**

Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, Львів, Україна

<sup>a</sup> e-mail: buchynska@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0002-8154-4485>

<sup>b</sup> e-mail: stupkaoksana@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-5871-0249>

<sup>c</sup> e-mail: savchinsky@gmail.com

**POTENTIAL FOR UTILIZING BROWN COAL MINING DUMPS  
AS TECHNOGENIC SITES**

**Iryna BUCHYNSKA<sup>a</sup>, Oksana STUPKA<sup>b</sup>, Liubomyr SAVCHYNSKYI<sup>c</sup>**

Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals  
of the NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine

Існування техногенних відвалів буровугільних виробок на Заході України є наслідком специфічного, переважно локального освоєння лігнітових покладів у XX столітті. Відвали буровугільних комплексів Придністровської, Прикарпатської і Закарпатської буровугільних площ мають незначні (порівнюючи з териконами Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну) геометричні параметри, але володіють унікальними геохімічними й літологічними характеристиками. Це дозволяє говорити про доцільність їх розгляду як техногенних джерел неорганічної та органо-мінеральної сировини (Рудько та ін., 2019).

Багаторічна діяльність гірничодобувних підприємств регіону призвела до накопичення значних обсягів порід розкриву та териконів, які негативно впливають на довкілля, але мають певний ресурсний потенціал. Основу відвальних мас становлять аргіліти, алевроліти, пісковики, пластичні та вогнетривкі глини (зокрема бентонітові), а також галечникові відклади. Органічна домішка речовини відвалів містить від 10 до 25 % некондиційного дрібнофракційного лігніту та гуміфікованої речовини, що підвищує їхню сорбційну й термічну активність. Якщо відвали Прикарпатського і Придністровського районів однакові за складом через подібні процеси торфонакопичення, то мінеральні відходи буровугільного комплексу Закарпатського прогину суттєво відрізняються через специфіку торфонакопичення та вулканогенно-осадовий характер супутніх порід.

У Львівській та Івано-Франківській областях їхнє використання має локальний характер. Більшість відвалів мають локальний агроекологічний та керамічний характер, оскільки самі буровугільні кар'єри були меншими,

а порода містила вищий відсоток корисних для ґрунту гумінових сполук (Іванов & Антонів, 2024).

На місцях колишніх буровугільних копалинь Придністровської площі збереглися невеликі відвали площею до 1,0–1,5 га і висотою до 10–15 м. Більшість з них зруйновані формами лінійної ерозії та утворили довкола широкі шлейфи відвальних відкладів. Близько 5–8 % від загальної маси відвалів припадає на дерев'яні предмети – різні шахтні кріплення, затяжки, шпали тощо. В останні роки спостерігається розбирання відвалів для потреб підсилення доріг і будівництва.

Прикарпатський буровугільний район також багатий на відвали старих виробок. Мінеральні відвали тут представлені суглинками та високопластичними глинами із домішками лігніту. Наприклад, матеріал з відвалів Коломийського родовища транспортувався на місцеві цегельні заводи, які спеціалізуються на виробництві високоякісної будівельної цегли та кахлю. Породи, що містили гумусовані глини та крихту бурого вугілля, додавали до «жирних» коломийських глин для запобігання повітряній усадці виробів. Органічна частина бурого вугілля забезпечувала рівномірне спікання черепка, ліквідовуючи ризик появи тріщин.

Багаті на гумінові речовини дрібнофракційні відходи розкривних робіт використовувалися для біологічної рекультивації земель, порушених гірничими роботами. Суміш бідних підзолистих ґрунтів регіону із буровугільними відходами суттєво підвищувала вміст гумусу в орному шарі, що дозволило повернути десятки гектарів колишніх кар'єрів у лісгосподарське та аграрне користування (Дриженко & Шустов, 2015).

Переробка та комплексне освоєння відвалів буровугільних родовищ Закарпаття (зокрема Ільницького) є не лише інструментом зниження екологічного навантаження на літосферу регіону, а й рентабельним джерелом вторинних ресурсів (Вергельська, 2024). Запровадження технологій замкненого циклу утилізації на підприємствах на кшталт ТОВ «Лігніт +» дозволить трансформувати накопичені техногенні маси у ліквідну продукцію для будівельної та аграрної індустрій Заходу України.

З урахуванням специфіки мінерального складу відходів Західного регіону України, можна виділити три основні вектори утилізації техногенних відвалів:

1. *Виробництво пористих будівельних матеріалів та кераміки.* Більшість легкоплавких глин Західного регіону є надмірно пластичними, що викликає значну усадку та утворення тріщин під час сушіння керамічного сирцю. Мікрочастинки бурого вугілля, рівномірно розподілені у керамічній масі, вигоряють під час випалу цегли у тунельних печах. Це забезпечує так зване «внутрішнє спалювання», яке не лише суттєво заощаджує природний газ, але й утворює замкнені мікропори. Завдяки цьому готова цегла отримує вищу морозостійкість та значно нижчий коефіцієнт теплопровідності. Випал породи забезпечує вигорання залишків вуглецю з одночасним формуванням високопористого керамічного каркасу. Отриманий аглопоритовий гравій характеризується низькою об'ємною вагою та високою міцністю. Високоглиноземні компоненти розкриву можуть залучатися як коригувальні добавки до сировинної шихти портландцементного клінкеру.

2. *Сільськогосподарська меліорація та агрохімія*. Тонкодисперсні відходи флотації та пусті породи із залишками бурого вугілля є цінними для аграрного сектору. Породи відвалів, як і саме буре вугілля, можуть використовуватися як абсорбенти та пролонгатори. Завдяки високій ємності катіонного обміну гумінових кислот лігніту, відвальні маси використовуються як мінеральна основа для капсулювання азотно-фосфорних добрив. Це суттєво уповільнює вимивання рухомих форм поживних речовин з орного шару ґрунту. Застосування подрібнених вуглистих порід безпосередньо у ґрунт покращує його агрегатну структуру, знижує щільність важких глинистих ґрунтів і стимулює мікробіологічну активність.

3. *Екологічне застосування*. Вуглиста складова відвалів має виражені адсорбційні властивості щодо ксенобіотиків (пестициди, мінеральні добрива, фармацевтичні препарати, побутова хімія, важкі метали, пластмаси). Дрібнофракційні відходи можуть застосовуватися для стабілізації рухомих форм важких металів у зоні впливу полігонів побутових відходів, створення геохімічних бар'єрів для запобігання міграції токсинів у підземні водонасні горизонти.

Вергельська, Н. В. (2024). Буровугільні поклади закарпатської вугленосної площі: екологічні аспекти (на прикладі Ільницького родовища). *Acta academiae beregsasiensis: geographica et recreatio*, 3, 22–29. <https://doi.org/10.32782/2786-5843/2024-3-3>

Дриженко, А. Ю., & Шустов, О. О. (2015). *Буре вугілля України: умови залягання та перспективи освоєння*. НГУ.

Іванов, Є., & Антонів, Б. (2024). Буре вугілля Передкарпаття, його походження, історія і перспективи видобування. У *Тенденції та перспективи розвитку науки і освіти в умовах глобалізації: матеріали Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції* (31 січня 2024 р.): збірник наукових праць (Вип. 101, с. 5–8). Переяслав. [https://www.researchgate.net/publication/378184723\\_](https://www.researchgate.net/publication/378184723_)

Рудько, Г. І., Іванов, Є. А., & Ковальчук, І. П. (2019). *Гірничопромислові геосистеми Західного регіону України (Т. 1–2)*. Бурек.

## ЕКОЛОГІЧНІ ЗМІНИ ДОВКІЛЛЯ ПРИ РОЗРОБЦІ ТОРФОВИЩ

Наталія ВЕРГЕЛЬСЬКА<sup>1,a,2</sup>, Людмила РЕШЕТНИК<sup>1,b</sup>, Андрій  
ПОКШЕВНИЦЬКИЙ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Державна установа «Науковий центр гірничої геології, геоecології та розвитку інфраструктури Національної академії наук України», Київ, Україна

<sup>a</sup> e-mail: vnata09@meta.ua; <https://orcid.org/0000-0002-1440-6082>

<sup>b</sup> <https://orcid.org/0000-0001-5914-9174>

<sup>2</sup> Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища Національної академії наук України», Київ, Україна

e-mail: pokshevnitskiy@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0003-3804-3495>

## ECOLOGICAL CHANGES IN THE ENVIRONMENT DURING THE DEVELOPMENT OF PEATLANDS

Nataliia VERGELSKA<sup>1,a,2</sup>, Luidmila RESHETNYK<sup>1,b</sup>,  
Andrii POKSHEVNYTSKYI<sup>2</sup>

<sup>1</sup> State Institution “Scientific Center of Mining Geology, Geoecology and Infrastructure Development of the National Academy of Sciences of Ukraine”, Kyiv, Ukraine

<sup>a</sup> e-mail: vnata09@meta.ua; <https://orcid.org/0000-0002-1440-6082>

<https://orcid.org/0000-0001-5914-9174>

<sup>2</sup> State Institution “Institute of Environmental Geochemistry of the National Academy of Sciences of Ukraine”, Kyiv, Ukraine

Торфоболотні комплекси займають близько 3 % суходолу Землі. Площа торфовищ в Україні становить близько 1 млн га та розділена на понад 1,5 тис. родовищ, із загальними геологічними запасами 2,04 млрд тонн, згідно з офіційними даними (Рацкий, 2022). У Київській області налічується близько 280 торфовищ, загальна площа яких становить понад 930 гектарів, а запаси торфу оцінюються в обсягах до 100 млн тон. Понад 80 % українських торфовищ осушені та продовжують безконтрольно осушуватись під сільськогосподарські угіддя чи видобуток торфу. Вивченість торф'яних родовищ дозволяє значно збільшити видобуток торфу в Україні для палива, медицини та виробництва органічних добрив.

Торфоболотні комплекси (торфовища) – це унікальні складні багатокомпонентні природні екосистеми, які мають важливе значення для збереження водного балансу, кругообігу вуглецю та є одним із сучасних напрямів боротьби з глобальним потеплінням (Вергельська, 2015). Однак протягом останніх століть ці території активно осушувалися, оскільки сільське господарство та промисловість вирішували питання забезпечення населення як кожної окремої країни, так і світу, в цілому. Дослідження та моніторинг екосистем торфовищ кардинально змінилася, коли визначили, що болота відіграють важливу роль у кругообігу вуглецю, і як наслідок регулювання потеплінням клімату.

За умови раціонального видобутку торфу, тобто: при правильному видобуванні з урахуванням запасів покладу, забезпеченості гірничо-технічної та біологічної рекультивації родовищ, негативних вплив на екосистему торфоболотних комплексів можливо максимально мінімізувати. Це, по-перше –

зменшить негативні наслідки впливу на гідросферу та атмосферу; по друге – знизить можливість виникнення масових пожеж.

Відповідно до Рамкової конвенції ООН про зміну клімату, викиди з пошкоджених торфовищ і скорочення вуглецю від відновлення торфовищ підлягають національному обліку. Тому дослідження та моніторинг екосистем діючих, відпрацьованих та непідданих відпрацюванню торфовищ є актуальним науковим дослідженням (Денищик, 2025).

Кожна країна світу мала свою причину для осушення торфоболотних комплексів. Наприклад, у Польщі, торфовища перетворювали на сільськогосподарські землі. В Україні, видобували торф чи використовували як сільськогосподарські землі. Важливою проблемою у експлуатації торфовищ в Україні є відсутність будь-яких вимог до відновлення відпрацьованої ділянки, щоб повернути її в екологічний стан після видобування торфу. У законодавстві України тривалий час не було (до постанови КМУ № 579 від 06.05.2026) чітко передбачених вимог щодо рекультивації та майбутнього раціонального використання вироблених торфовищ.

Коли розробку торфовища припиняють та ділянка залишається осушеною, у результаті технологічних робіт, розпочинається звірювання вуглецю яке можливо зменшити за рахунок рекультивації за умови, що будуть враховані геохімічні та гідрогеологічні зміни, відновлені та сформовані стійкі рослинні біоценози максимально автентичні. Гідрологія торфовищ починає відновлюватися після блокування каналу або інших методів повторного зволоження. Рослинний покрив відновлюється повільніше і може тривати кілька років або десятиліть, залежно від того, наскільки деградувала рослинність і її тип за час розробки родовища.

Після відпрацювання торфовища та не проведення рекультивації у інвазійних видів рослинності є можливість отримати нові місця для розвитку. При значній кількості не автентичних рослин відбуваються не тільки зміни рослинних біоценозів, а й у хімічних характеристиках ґрунтів (торфоболотних комплексах), що й призводить до негативного впливу на довкілля. В той час, внаслідок бойових дій відбувається часткове знищення біоценозів, не виключено, що першими звільнене місце займуть інвазійні види. Для регіонів Полісся відновлення автентичних видів торфоболотних біоценозів може тривати десятиліття і більше, тож не виключено – втрата незворотна.

В Україні та у більшості країн світу недооцінюють торф та його місце в екосистемі. У порівнянні з вартістю інших джерел палива, ціна готової продукції, а саме паливного брикету, є значно меншою. Відтак, видобуток торфу, як горючої корисної копалини як у світі так і в Україні залишається актуальним і сьогодні.

Київщина та Чернігівщина – регіони, де є можливість проаналізувати зміни у екосистемах, у тому числі і за рахунок бойових дій: водно-болотних, торфоболотних та меліорованих угідь. Отримані результати застосувати для створення науково-обґрунтованих моделей рекультивації та ревіталізації порушених виробками чи осушених торфоболотних комплексів. У посушливі періоди та восени виникають пожежі, що охоплюють десятки гектарів.

Ключовим питанням подальших досліджень є рекультивація чи ревіталізація торфовищ (торфоболотних комплексів)?

Питання ревіталізації (відновлення) торфовищ розглядається багатьма країнами світу, відповідно до цього створюють та впроваджують держані та наукові (науково-дослідні) програми. Основним завданням якої є зміни природно-техногенного середовища відпрацьованих ділянок торфовищ для сповільнення викидів парникових газів на їх негативного впливу на довкілля.

Вергельська, Н. В. (2015). *Моделі формування сучасних торфовищ. Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики*, 12, 139–149.

Денищик, О. (2025). *Як і навіщо світ відновлює болота: уроки для України*. LB.ua. [https://lb.ua/blog/ecoaction/658004\\_yak\\_i\\_navishcho\\_svit\\_vidnovlyuie\\_bolota.html](https://lb.ua/blog/ecoaction/658004_yak_i_navishcho_svit_vidnovlyuie_bolota.html)

Рацкий, Н. (2022). *Видобуток торфу в Україні: доцільність відновлення торфовищ*. Європейська Бізнес Асоціація. <https://eba.com.ua/vydobutok-torfu-v-ukrayini-dotsilnist-vidnovlennya-torfovyskh/>

УДК 504.4.054:622.5

**МЕТОДИКА ВІДБОРУ ПРОБ  
ТА ОЦІНКА ВПЛИВУ КИСЛОТНИХ ШАХТНИХ ВОД НА ОЗЕРА  
ТА ПРОЦЕСИ ЇХ НЕЙТРАЛІЗАЦІЇ  
(ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ МІЖНАРОДНОГО СЕМІНАРУ–СТАЖУВАННЯ  
В РАМКАХ NAWA PROM PROJECT)**

**Соломія КАЛЬМУК**

Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, Львів, Україна  
[solomiya.kalmuk@gmail.com](mailto:solomiya.kalmuk@gmail.com); <https://orcid.org/0000-0002-1350-9696>

**METHODOLOGY OF SAMPLING  
AND ASSESSMENT OF ACID MINE DRAINAGE EFFECTS ON LAKES  
AND THEIR NEUTRALIZATION PROCESSES  
(BASED ON THE RESULTS OF THE INTERNATIONAL  
WORKSHOP-TRAINING WITHIN THE NAWA PROM PROJECT)**

**Solomiya KALMUK**

Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals  
of the NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine

**Вступ.** Ліквідація та затоплення колишніх об'єктів гірничодобувної промисловості супроводжуються складними геоекологічними процесами, серед яких найгострішою проблемою є формування кислотного шахтного дренажу (AMD – Acid Mine Drainage). Внаслідок цього утворюються високотоксичні води з низьким значенням *pH*, насичені сірчаною кислотою, залізом та супутніми важкими металами.

**Мета роботи.** Дослідити та оцінити вплив кислотних шахтних вод на посттехногенні озера. Освоїти європейські стандарти екологічного моніторингу та методики відбору проб на базі унікального антропогенного ландшафту – Світового геопарку ЮНЕСКО «Арка Мужакова» (*Muskau Arch*).

**Об'єкти дослідження.** Польові виїзди та безпосередній відбір зразків води проводилися на транскордонній території Польщі та Німеччини (Любуське воєводство (*Lubuskie Voivodeship*), околиці міст Ленкниця, Тшебель,



Маршрут екологічної геотуристичної стежки «Колишня копальня Бабіна» (*Ścieżka geoturystyczna "Dawna Kopalnia Babina"*) та просторове розташування посттехногенних водойм у Світовому геопарку ЮНЕСКО «Арка Мужакова» (*Muskau Arch*)

Тупліца (*Lęknica, Trzebiel, Tuplice*)). Локацією для практичної роботи став ландшафтний парк "Мужаковський вал" (*Muskau Bend/Arch Landscape Park*) і транскордонний парк Мужаковський (*Muskau Park*). Об'єктами моніторингу виступали посттехногенні озера, що утворилися внаслідок затоплення колишніх шахт із видобутку бурого вугілля (лігніту) та вогнетривких глин. Експериментальна частина польових досліджень та відбір гідрохімічних проб реалізовувалися безпосередньо на маршруті екологічної геотуристичної стежки «Колишня копальня Бабіна» (*Ścieżka geoturystyczna "Dawna Kopalnia Babina"*) (Maciantowicz, 2013) (рисунок). Формування цього ландшафту історично зумовлене потужними льодовиковими зсувами, які підняли поклади корисних копалин близько до поверхні. Після припинення штучного відкачування шахтних вод відбулось природне затоплення виробок підземними та поверхневими водами, що призвело до утворення понад 100 антропогенних озер на польській стороні геопарку (Blachowski et al., 2022). Водночас у німецькій частині цієї транскордонної структури промисловий видобуток корисних копалин продовжує активно розвиватися і надалі.

**Результати досліджень.** У результаті проведеного польового моніторингу посттехногенних водойм та підземних джерел на території копальні «Бабіна» було зафіксовано критичний рівень деструктивного впливу кислотного шахтного дренажу (AMD). Головним індикатором екологічного стану досліджуваних акваторій виступив водневий показник (*pH*), значення якого в усіх відібраних пробах озерних вод та пов'язаних з ними підземних джерел коливалося в екстремально низьких межах – від 2,6 до 4,0. Такий високий рівень

кислотності підтверджує активні процеси окиснення сульфідних мінералів (переважно піриту) у залишкових гірничих виробках та відвалах породи. Залежно від мінералізації та концентрації розчинених металів (насамперед заліза різної валентності), колір води в озерах суттєво варіює – від яскраво-голубого, зеленого та смарагдового до насиченого червоно-помаранчевого. У зонах затоплення колишнього лісового масиву агресивне хімічне середовище призвело до масової загибелі деревної рослинності. Висока концентрація вільної сірчаної кислоти, токсичних іонів заліза та алюмінію блокує здатність кореневої системи абсорбувати воду та поживні речовини, коріння буквально руйнується хімічним шляхом.

Отримані гідрохімічні параметри свідчать, що природні процеси нейтралізації та самоочищення у більшості досліджених озер копальні є сильно пригніченими через потужний стабільний притік кислих підземних вод. За оцінками польських дослідників, для повної природної нейтралізації цих антропогенних озер знадобиться орієнтовно 100 років. На сьогодні екологи та керівництво геопарку свідомо відмовляються від штучного хімічного втручання (наприклад, вапнування), надаючи природі можливість самостійно відновити баланс. Головним завданням наукового моніторингу в цих умовах є тривале пасивне спостереження за еволюцією геохімічних змін та динамікою природного самоочищення даної екосистеми.

**Висновки.** У результаті проведеного моніторингу на території копальні «Бабіна» (*Ścieżka geoturystyczna “Dawna Kopalnia Babina”*) у Світовому геопарку ЮНЕСКО «Арка Мужакова» (*Muskau Arch*) підтверджено критичний вплив кислотного шахтного дренажу (AMD) на стан посттехногенних водойм та підземних джерел. Зафіксовано екстремально низькі значення водневого показника ( $pH\ 2,6-4,0$ ), що є наслідком активного окиснення сульфідних мінералів (переважно піриту) у гірничих виробках та відвалах породи. Встановлено, що висока варіативність забарвлення озер (від яскраво-блакитного до червоно-помаранчевого) безпосередньо залежить від мінералізації та концентрації розчинених іонів заліза й алюмінію. Виявлено високу фітотоксичність агресивного середовища у зонах затоплення лісового масиву, де вільна сірчана кислота та токсичні метали спричиняють хімічну деструкцію корневих систем рослин та їх масову загибель. Оскільки природні процеси нейтралізації водойм є сильно пригніченими, за оцінками фахівців, для повного самоочищення екосистеми знадобиться близько 100 років. З огляду на це, адміністрація геопарку, місцеві екологи та польські дослідники вирішили відмовитися від штучного хімічного втручання на користь довготривалого пасивного наукового спостереження.

Blachowski, J., Warchala, E., Koźma, J., Buczyńska, A., Bugajska, N., Becker, M., Janicki, D., Kujawa, P., Kwaśny, L., Wajs, J., Targosz, P. & Wojdyła, M. (2022). Geophysical Research of Secondary Deformations in the Post-Mining Area of the Glaciotectonic Muskau Arch Geopark – Preliminary Results. *Applied Sciences*, 12(3), 1194. <https://doi.org/10.3390/app12031194>

Maciantowicz, M. (2013). Leśna ścieżka geoturystyczna “Dawna Kopalnia Babina” w pierwszym w Polsce światowym geoparku “Łuk Mużakowa”. *Studia i Materiały CEPL w Rogowie*, 15(37/4), 199–205. <https://cepl.sggw.edu.pl/wp-content/uploads/sites/75/2021/08/Maciantowicz.pdf>

## **ДОСТУПНА І ЧИСТА ЕНЕРГІЯ ТА КЛІМАТИЧНІ ЗАХОДИ В ЄВРОПЕЙСЬКОМУ СОЮЗІ ТА В УКРАЇНІ**

**Мирослав ПОДОЛЬСЬКИЙ<sup>a</sup>, Леся КУЛЬЧИЦЬКА-ЖИГАЙЛО<sup>b</sup>**

Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, Львів, Україна

<sup>a</sup> e-mail: mpodolskyi@yahoo.com; <https://orcid.org/0000-0003-1628-3087>

<sup>b</sup> e-mail: lkulchytska@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0002-7059-7207>

## **AFFORDABLE AND CLEAN ENERGY AND CLIMATE ACTION IN THE EUROPEAN UNION AND IN UKRAINE**

**Myroslav PODOLSKYY<sup>a</sup>, Lesya KULCHYTSKA-ZHYHAYLO<sup>b</sup>**

Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals  
of the NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine

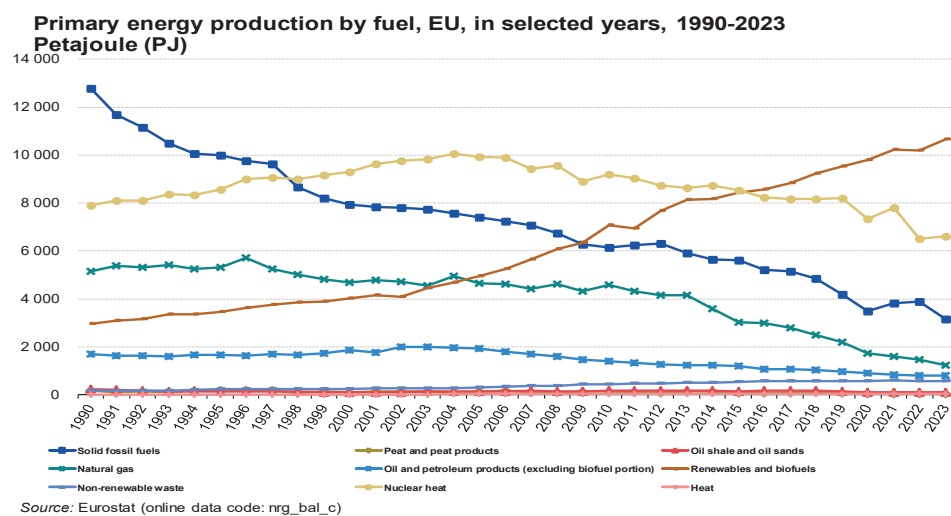
Відомо, що у 21-му столітті соціально-економічний та екологічний потенціал розвитку країн переважно визначається енергетичною складовою економіки, зокрема задіяними первинними енергетичними ресурсами та ефективністю енергетичних технологій. Загалом структура первинних енергетичних ресурсів і можливі напрями підвищення ефективності їхнього використання в Україні відповідають тенденціям в країнах Європейського Союзу (Подольський, 2020).

Використання енергетичних ресурсів в країнах Європейського Союзу відображається в енергетичних балансах, тематичних публікаціях та аналітичних матеріалах, які готуються статистичним офісом Європейської Комісії – Eurostat (<http://ec.europa.eu/eurostat/>). Дослідження доступної і чистої енергії та кліматичних заходів в Європейському Союзі проведемо на основі співставлення тенденцій моніторингового звіту щодо цілей сталого розвитку видання 2021 року (Подольський, 2023) і публікації «Сталий розвиток в Європейському Союзі – Моніторинговий звіт стосовно прогресу у досягненні показників СР в контексті ЄС – видання 2026» / Sustainable development in the European Union – Monitoring report on progress towards the SDGs in an EU context – 2026 edition, Eurostat (2026).

У моніторинговому звіті за 2026 рік вказано, що ЄС повністю відданий Порядку денному сталого розвитку на період до 2030 року та його 17 Цілям сталого розвитку (ЦСР), прийнятим Організацією Об'єднаних Націй у вересні 2015 року. Євростат відстежує прогрес ЄС у досягненні ЦСР за набором із 102 показників. Набір показників ЄС був ретельно відібраний у співпраці з великою кількістю зацікавлених сторін на основі критеріїв статистичної якості та релевантності в контексті політики ЄС. Показники оцінюються щорічно протягом короткострокового (останні п'ять–шість років доступних даних) та довгострокового (15 років) періоду. Цей звіт є десятим у серії. Регіональні відмінності в межах країн представлені для окремих показників ЦСР.

*Ціль сталого розвитку 7 – Доступна та чиста енергія.* Завдання: забезпечити доступ до недорогої, надійної, сталої та сучасної енергії для всіх. У повсякденному житті добробут та економічна діяльність залежать від надійного, доступного та сталого енергопостачання, такого як електроенергія,

опалення та охолодження, а також транспортні послуги. Моніторинг Цілі сталого розвитку 7 у контексті ЄС включає вивчення тенденцій у споживанні енергії, енергопостачання та доступі до енергії. За короткостроковий період ЄС досяг помірного прогресу в досягненні цієї мети. Споживання енергії скоротилося, але для досягнення цілей на 2030 рік потрібен швидший прогрес. Однак продуктивність енергії зросла, що призвело до подальшого розриву зв'язку економічного зростання зі споживанням енергії. У сфері енергопостачання ЄС досяг прогресу в досягненні цілі на 2030 рік щодо відновлюваної енергії, але темпи необхідно прискорити, щоб досягти частки 42,5%. ЄС дещо зменшив свою залежність від імпорту енергії, особливо твердого палива. Найкраще енергетичні тенденції в ЄС (збільшення частки енергії з відновлюваних джерел) відображає діаграма виробництва первинної енергії за видами палива, до прикладу:



*Ціль сталого розвитку 13 – Дії щодо зміни клімату.* Завдання: вжити термінових заходів для боротьби зі зміною клімату та її наслідками. Зміна клімату підвищує глобальну температуру повітря та океану, впливає на режим опадів, підвищує середній глобальний рівень моря, провокує екстремальні погодні явища, завдає шкоди біорізноманіттю та підвищує кислотність океану. Це загрожує життєздатності соціальних, екологічних та економічних систем і може зробити деякі регіони менш придатними для життя. Моніторинг Цілі сталого розвитку 13 у контексті ЄС зосереджений на пом'якшенні наслідків зміни клімату, її впливі та фінансуванні заходів щодо зміни клімату. Зі зростанням температури ЄС продовжує стикатися зі зростаючими економічними втратами від подій, пов'язаних з кліматом. Чисті викиди парникових газів (ПГ) в ЄС ще більше зменшилися у 2024 році, але для досягнення мети скорочення чистих викидів ПГ щонайменше на 55% до 2030 року порівняно з 1990 роком потрібні додаткові зусилля. Мета на 2030 рік включає чисту абсорбцію ПГ від землекористування, змін у землекористуванні та лісового господарства, яка ще більше зменшилася з 2019 року та залишається значно нижчою за необхідний рівень. Частка відновлюваних джерел енергії в ЄС неухильно зростає, але для досягнення нової мети на 2030 рік потрібен буде більший прогрес. Нові кошти були виділені через зелені облігації,

випущені корпораціями та урядами. Досягнуто прогресу у фінансуванні заходів щодо зміни клімату, при цьому обсяг витрат, пов'язаних із кліматом, для країн, що розвиваються, збільшився.

Україна набула статус кандидата на вступ до Європейського Союзу 23 червня 2022 року на саміті Європейської ради. У 2024–2026 рр. розпочато поступове відкриття шести переговорних кластерів про вступ до ЄС, зокрема № 1 «Основи процесу вступу» та № 6 «Зовнішні відносини». До кластеру № 4 «Зелений порядок денний та стале з'єднання» належать теми Екологія – Енергетика – Транспорт.

Подольський, М., Брик, Д., & Кульчицька-Жигайло, Л. (2023). Енергетичні складові сталого розвитку в країнах Європейського Союзу та в Україні. *Геологія і геохімія горючих копалин*, 3–4(189–190) 2023, 92–112 <https://doi.org/10.15407/ggcm2023.189-190.092>

Подольський, М., Кульчицька-Жигайло, Л., & Гвоздевич, О. (2020). Структура та технологічні аспекти використання енергетичних ресурсів в країнах Європейського Союзу та в Україні. *Збірник наукових праць ЛОГОΣ*, 52–55. <https://doi.org/10.36074/09.10.2020.v2.14>

Eurostat. (2026). *Sustainable development in the European Union – Monitoring report on progress towards the SDGs in an EU context – 2026 edition*. European Union. <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-flagship-publications/w/ks-01-25-064>

***Ресурси підземних вод,  
виклики і загрози, спричинені кліматичними змінами,  
техногенним впливом і воєнними діями***

---

УДК 556.314

**ОЦІНКА АНТРОПОГЕННОГО ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТОВИХ ВОД**

**Наталія ДУБЕЙ**

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,  
Івано-Франківськ, Україна  
e-mail: dubei0509@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-9042-6886>

**ASSESSMENT OF ANTHROPOGENIC GROUNDWATER POLLUTION**

**Natalia DUBEI**

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,  
Ivano-Frankivsk, Ukraine

Оцінка антропогенного забруднення ґрунтових вод є однією з найгостріших екологічних та інженерно-геологічних проблем сьогодення. Ґрунтові води є основним або резервним джерелом питного водопостачання для мільйонів людей, а їхнє відновлення – процес надзвичайно повільний та дорогий.

Антропогенне забруднення має комплексний характер і класифікується за походженням. Джерелами забруднення є сільське господарство, промисловість та енергетика, комунальне господарство (ЖКГ), військові дії. Основними забруднюючими речовинами в сільському господарстві є нітрати, фосфати, пестициди, гербіциди, бактеріологічне забруднення (від тваринницьких комплексів).

В роботі викладені результати досліджень і оцінки якості та придатності до пиття ґрунтових вод села Високе Чортківського району Тернопільської області. Були відібрані проби води з п'яти криниць. В лабораторії нафтогазової гідрогеології кафедри геології та розвідки нафтових і газових родовищ ІФНТУНГ за розробленою методикою були визначені фізичні і хімічні властивості, виконано хімічні аналізи (Дубей, 2024).

Вода у всіх криницях прозора, без смаку, без запаху. Густина – 995 кг/м<sup>3</sup>, *pH* – від 5,2 до 6 (середовище слабокисле), *Ен* – +210, мінералізація – 0,8–0,9 г/дм<sup>3</sup> (вода прісна). Методом титрування визначено вміст іонів хлору, кальцію, магнію, загальну лужність, зокрема вміст карбонатів та гідроген карбонатів, визначено вміст сульфатів. Величина іона натрію обчислювалась аналітичним шляхом. Всі перелічені показники не перевищують гранично допустимих концентрацій згідно із санітарними нормами (табл. 1).

За допомогою формули Курлова визначена назва води – гідрокарбонатна кальцієва.

Виконано оцінку забруднення підземних вод нітратами.

У досліджуваних водах визначався вміст нітратів та вміст азоту нітратів і зроблено висновок про якість вод за даними показниками.

Т а б л и ц я 1. Зведені результати хімічних аналізів досліджуваних вод в с. Високе

| Місце відбору проби води                | Катіони, мг/л   |                  |                  | Аніони, мг/л    |                               |                               |
|-----------------------------------------|-----------------|------------------|------------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|
|                                         | Na <sup>+</sup> | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | Cl <sup>-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> |
| вул. Дружби, 1<br>досл. вода № 1        | 11,04           | 132,2            | 9,73             | 74,47           | 13,45                         | 335,57                        |
| вул. Шевченка, 4<br>досл. вода № 2      | 53,36           | 104,0            | 9,76             | 74,55           | 10,56                         | 366,0                         |
| вул. Незалежності, 29<br>досл. вода № 3 | 5,98            | 140,0            | 21,96            | 81,65           | 12,48                         | 396,5                         |
| вул. Чорновола, 26<br>досл. вода № 4    | 40,48           | 90,01            | 35,26            | 74,46           | 7,68                          | 421,0                         |
| вул. Чорновола, 48<br>досл. вода № 5    | 78,66           | 102,2            | 9,7              | 108,9           | 58,59                         | 305,06                        |

Щоб визначити забрудненість води сполуками азоту, в першу чергу, визначають вміст нітратного азоту (вміст нітратів). Цей параметр регулюється Державними санітарними нормами і правилами. Згідно з гігієнічними вимогами до якості питної води, вміст в ній нітратів не повинен перевищувати 50 мг/л, азоту нітратів – 11 мг/л. Нітрати – це солі азотної кислоти, які можуть спричиняти токсичну дію на організм. Якщо вміст нітратів у питній воді перевищений, то її вживання може мати досить серйозні наслідки для здоров'я.

Визначення вмісту нітратів у досліджуваній воді проводилось на фотоелектричному колориметрі-нефелометрі при фіолетовому світлофільтрі.

У всіх пробах води вміст нітратів значно перевищує санітарні норми. Про це можна вже було здогадатися ще на етапі підготовки розчину, забарвлення його було насичено жовтим.

Для контролю було проведено також визначення вмісту нітратів у водопровідній воді. Забарвлення підготовленого розчину майже не було видно. Вміст нітратів складає 40 мг NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/л, тобто є в межах допустимих санітарних норм. Результати наведені в табл. 2.

Аналіз результатів визначення вмісту нітратів у ґрунтових підземних водах, відібраних з криниць в селі, дозволив зробити висновок про значне

Т а б л и ц я 2. Вміст сполук азоту у досліджуваних водах

| Місце відбору проб води                            | Оптична густина | Вміст нітратів, мг NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /л | Вміст азоту нітратів, мг N/л |
|----------------------------------------------------|-----------------|----------------------------------------------------|------------------------------|
| с. Високе, вул. Дружби, 1<br>Досл. вода № 1        | 0,29            | > 300                                              | > 66                         |
| с. Високе, вул. Шевченка, 4<br>Досл. вода № 2      | 0,15            | 300                                                | 66                           |
| с. Високе, вул. Незалежності, 29<br>Досл. вода № 3 | 0,08            | 160                                                | 35,2                         |
| с. Високе, вул. Чорновола, 26<br>Досл. вода № 4    | 0,6             | > 300                                              | > 66                         |
| с. Високе, вул. Чорновола, 48<br>Досл. вода № 5    | 0,63            | > 300                                              | > 66                         |
| м. Івано-Франківськ,<br>водопровідна вода          | 0,01            | 20                                                 | 4,4                          |

забруднення цих вод сполуками азоту. Зазвичай причина цього полягає, в першу чергу, у використанні великої кількості азотовмісних добрив і нерозумній господарській діяльності (наприклад, коли колодязь знаходиться недалеко від місця стоків з полів). Нітрати потрапляють у ґрунт, звідти – в ґрунтові води, а з них – у свердловини і колодязі. У даній ситуації такий фактор впливу також слід розглядати, оскільки неподалік села є поля, де вирощують сільськогосподарські культури.

Проведення оцінки екологічного стану ґрунтових вод є дуже важливим. Вона дозволить:

- виявити забруднюючі речовини у підземному водному середовищі;
- своєчасно закрити небезпечні водозабори;
- модернізувати системи водопідготовки;
- обмежити господарську діяльність навколо зон живлення водоносних горизонтів (організація зон санітарної охорони).

Отже, оцінка антропогенного забруднення ґрунтових вод є базисом для екологічної безпеки будь-якого регіону. Без актуальних даних моніторингу неможливо реалізувати концепцію сталого природокористування та забезпечити населення якісною питною водою.

Міністерство охорони здоров'я України. (2010). *Державні санітарні норми та правила «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» (ДСанПіН 2.2.4-171-10)* (Наказ № 400). Верховна Рада України. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10>

Дубей, Н. (2024). *Гідрогеологія та інженерна геологія*: підручник. Івано-Франківськ.

УДК 622:504.3+556.3

## **СТАДІЙНА ПЕРЕБУДОВА ГІДРОГЕОХІМІЧНОГО РЕЖИМУ ПІДЗЕМНИХ ВОД ЗАХІДНОГО ДОНБАСУ В УМОВАХ ТРИВАЛОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ**

**Наталя Д'ЯЧЕНКО**

ДУ «Науковий центр гірничої геології, геоекології та розвитку інфраструктури НАН України», Київ, Україна  
e-mail: natalidyachenko1969@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-4852-0203>

## **THE GRADUAL TRANSFORMATION OF THE HYDROGEOCHEMICAL REGIME OF GROUNDWATER IN THE WESTERN DONBAS UNDER CONDITIONS OF LONG-TERM COAL MINING**

**Natalia DIACHENKO**

State institution "Scientific Center of Mining Geology, Geoecology and Infrastructure Development of the NAS of Ukraine", Kyiv, Ukraine

Західний Донбас є одним із найбільших вугільних басейнів України, де підземний видобуток вугілля здійснюється із середини XX століття. Район характеризується складними гідрогеологічними умовами, значною обводненістю кам'яновугільних порід та наявністю декількох взаємопов'язаних

водоносних горизонтів (ВГ) (Дяченко, 2013). Під час експлуатації шахт на режим підземних вод (ПВ) впливають наступні фактори: постійний шахтний водовідлив, що спрямований на осушення гірничих виробок; порушення природної тріщинуватості порід унаслідок очисних робіт; обвалення та зрушення гірських порід, що змінюють фільтраційні властивості масиву; посилення гідравлічного зв'язку між ВГ в зоні техногенного впливу (Подрезенко & Краснопольський, 2010). Недостатня кількість довгострокових гідрогеохімічних досліджень та обмеженість моніторингових спостережень ускладнюють оцінку змін режиму ПВ і прийняття обґрунтованих рішень щодо управління водними ресурсами.

Мінералізація шахтних вод безпосередньо залежить від характеру та джерел водопритоку. Під час фільтрації через породи вода насичується солями та мінералами, тому збільшення притоку глибоких ПВ, як правило, супроводжується зростанням мінералізації. Водночас надходження слабомінералізованих вод (наприклад, атмосферного або четвертинного живлення) може призводити до її зниження. Таким чином, взаємозв'язок між водопритоком і мінералізацією визначається ступенем взаємодії ВГ з гірськими породами та умовами їх гідравлічного зв'язку.

Аналіз багаторічних змін мінералізації та водопритоку за результатами моніторингових спостережень на шахті «Дніпровська» показав, що протягом 45 років мінералізація шахтних вод зросла з 14,1 до 21,8 г/дм<sup>3</sup> (рис. 1), а водопритоку – з 41 до 454 м<sup>3</sup>/год (рис. 2). При цьому зміни не мали рівномірного характеру та проявлялися у вигляді кількох етапів розвитку. До 2005 року спостерігалася тенденція до зниження мінералізації, у 2005–2018 рр. – її зростання, а після 2019 року – повторне зниження.

Проведений аналіз свідчить, що початково переважало дренавання верхніх слабомінералізованих горизонтів. Подальше підвищення мінералізації вказує на поступове залучення глибших і більш мінералізованих вод карбонного комплексу. Зі збільшенням глибини та тривалості відпрацювання вугілля відбувалося підключення нових водоносних горизонтів, формування єдиної депресійної лійки шахтного водовідливу, посилення ролі тектонічно

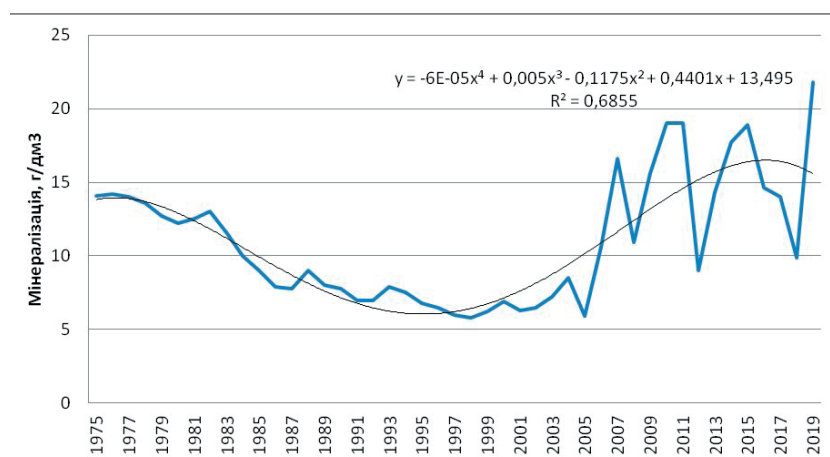


Рис. 1. Результати аналізу змін показника мінералізації в часі (ш. Дніпровська)

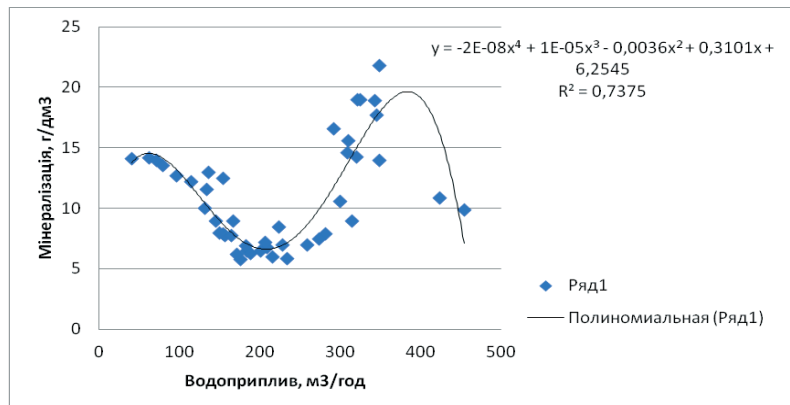


Рис. 2. Діаграма розсіювання показників мінералізації та водоприпливів

порушених зон у процесах фільтрації. Встановлено, що зростання водоприпливу не завжди супроводжується розбавленням шахтних вод. У ряді періодів збільшення припливів поєднувалося зі зростанням мінералізації, що свідчить про перехоплення напірних солоніших вод бучацького та обухівського водоносних горизонтів.

Проведений аналіз показав, що лінійні тренди показують загальну тенденцію до збільшення водоприпливу в середньому на  $+6,7 \text{ м}^3/\text{год}$  за рік та зростання мінералізації на  $+0,09 \text{ г/дм}^3$  за рік. За період спостережень інтенсивність водовідливу збільшилася більш ніж у 10 разів, що свідчить про поступове підключення нових джерел живлення, зокрема напірних горизонтів і тектонічних зон. Кореляційний аналіз свідчить про помірний позитивний зв'язок між водоприпливом і мінералізацією ( $r = 0,29$ ). Це підтверджує, що збільшення припливів часто супроводжується надходженням більш мінералізованих вод, а не їх розбавленням. Найкраще динаміку обох показників описують поліноміальні тренди третього порядку ( $R^2 = 0,6855$  для мінералізації та  $R^2 = 0,7375$  для водоприпливів), які відображають стадійний характер перебудови гідрогеохімічного режиму. I стадія (1975 – середина 1980-х) водоприпливи  $< 100 \text{ м}^3/\text{год}$ , мінералізація  $5,8\text{--}7 \text{ г/дм}^3$ , домінує дренавання верхніх, слабомінералізованих горизонтів. II стадія (кінець 1980-х – 2000-ні) різке зростання водоприпливів ( $150\text{--}300 \text{ м}^3/\text{год}$ ), мінералізація  $8\text{--}14 \text{ г/дм}^3$ , підключення бучацького та обухівського горизонтів. III стадія (після 2005 р.) водоприпливи  $> 300 \text{ м}^3/\text{год}$ , мінералізація до  $20\text{--}22 \text{ г/дм}^3$ , інтенсивне дренавання напірних вод і тектонічних зон.

Гірничі роботи спричинили зміну фільтраційних властивостей порід і посилення гідравлічного зв'язку між водоносними горизонтами. Це призвело до зміни природного режиму підземних вод і формування техногенно керованої гідрогеологічної системи.

Дяченко, Н. О. (2013). Особливості формування регіональних лійок депресії у відкладах палеогену під впливом осушення шахтами та водозабору (Західний Донбас). *Наукові праці УкрНДМІ НАН України*, 12, 291–305.

Подрезенко, І. Н., & Краснопольський, І. А. (2010). Про фактори, що впливають на гідрогеохімічний та гідрологічний режими гідросфери при експлуатації вугільних шахт Західного Донбасу. *Екологія і природокористування*, 13, 155–163.

## КОМПОЗИТНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ ВІД ТЕХНОГЕННИХ ЗАБРУДНЮВАЧІВ

Олена МАКІДО<sup>1,a</sup>, Галина ХОВАНЕЦЬ<sup>1,b</sup>, Марія ЖИГАЙЛО<sup>1,c</sup>,  
Оксана ДЕМЧИНА<sup>1,d</sup>, Оксана КУРИЛЕЦЬ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Відділення фізико-хімії горючих копалин Інституту фізико-органічної хімії і  
вуглехімії ім. Л. М. Литвиненка НАН України, Львів, Україна

<sup>a</sup> e-mail: emakido@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-8643-2888>

<sup>b</sup> e-mail: khovanets\_galina@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0001-5932-9968>

<sup>c</sup> e-mail: zhyhailo.mariia@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-8961-9138>

<sup>d</sup> e-mail: demchynaoksana@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0002-6518-6622>

<sup>2</sup> Національний університет «Львівська політехніка», Львів, Україна  
e-mail: oksana.h.kurylets@lpnu.ua; <https://orcid.org/0000-0002-5691-9222>

## COMPOSITE MATERIALS FOR WATER PURIFICATION FROM TECHNOGENIC POLLUTANTS

Olena MAKIDO<sup>1,a</sup>, Galyna KHOVANETS<sup>1,b</sup>, Mariia ZHYHAILO<sup>1,c</sup>,  
Oksana DEMCHYNA<sup>1,d</sup>, Oksana KURYLETS<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Physical Chemistry of Fossil Fuels of the Institute  
of Physical-Organic Chemistry and Coal Chemistry named after L. M. Lytvynenko  
of the National Academy of Sciences of Ukraine, Lviv, Ukraine

<sup>2</sup> Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

Забруднення водних ресурсів України компонентами вибухових речовин (нітросполуки ароматичного ряду, нітроаміни, нітроефіри, солі важких металів) внаслідок бойових дій, а також пошкодження критичної інфраструктури (очисних споруд, колекторів, нафтопереробних підприємств) створює загрозу потрапляння органічних та бактеріологічних забруднювачів у довкілля. Розроблення ефективних методів очищення води від складних забруднювачів є актуальним завданням сучасної екологічної хімії. Традиційні методи (біологічне очищення, коагуляція, сорбція, мембранні технології) є високовартісними та не завжди забезпечують необхідний ступінь вилучення токсикантів.

Значна частина органічних забруднювачів є стійкою до біологічного окиснення, що зумовлює необхідність використання методів глибокого окиснення (Advanced Oxidation Process – AOPs) (Miklos et al., 2018). Найбільш поширеним серед методів AOPs є процес Фентона, який базується на взаємодії іонів  $\text{Fe}^{2+}$  із пероксидом водню з утворенням високореакційних гідроксильних радикалів (Deng et al., 2015). Особливий інтерес викликають гетерогенні системи Фентона, у яких каталізатор перебуває у твердій фазі та може бути легко відокремлений від реакційного середовища. Нами розроблено та досліджено два типи гетерогенних каталітичних систем Фентона.

Першим є багатошаровий магніточутливий наноструктурований композит на основі оксидів перехідних металів  $\text{SiO}_2/\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{CuO}$  типу «ядро-оболонка». Синтез композиту проводили у три стадії: співосадження гідроксидів кобальту та заліза на попередньо сформовані частинки  $\text{SiO}_2$ , формування стабілізуючого шару оксиду кремнію, на який осаджували гідроксид міді. Після відпалу сформувалася структура шпінелі фериту кобальту

з магнітними властивостями та пористий шар  $\text{SiO}_2$  з нанесеними на ньому активними каталітичними центрами  $\text{CuO}$  (Makido et al., 2022). Структуру та склад композиту підтверджено методами рентгеноструктурного аналізу, ІЧ-спектроскопії з перетворенням Фур'є та скануючої електронної мікроскопії (SEM) із системою мікроаналізу. Каталітичні властивості багатошарового композиту  $\text{SiO}_2/\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{CuO}$  досліджено на модельних розчинах барвника (метиленовий синій (МС)), антибіотика (амоксацилін) та імітаті молочних стоків, як у класичній системі Фентона з використанням як окисника пероксиду водню ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ), так і при заміні його на кисень повітря. За 60 хв процесу ступінь деструкції барвника досягав 83 %, амоксициліну – 56 %, а молочних стоків – 92 % за 30 хв (Курилець та ін., 2023; Макідо та ін., 2025; Makido et al., 2025). Важливою перевагою композиту є можливість заміни пероксиду водню на кисень повітря та швидке вилучення каталізатора за допомогою магнітного поля, що суттєво спрощує та здешевлює процес тонкого доочищення стічних вод.

Другим типом є гетерогенні сульфовмісні полімерні мембрани з імобілізованими іонами  $\text{Fe}^{2+}$ . Полімерні мембрани синтезували шляхом УФ-полімеризації акрилових мономерів: акрилонітрилу (АН), акрилової кислоти (АА) та сульфовмісного мономеру 2-акриламід-2-метилпропан-1-сульфокислоти (АМПС) у присутності фотоініціатора та зшиваючого агента. Співвідношення мономерів становило: для зразка 1 – АН:АА:АМПС = 58,2 : 14,5 : 24,4 (мас. %), а для зразка 2 – АН:АА:АМПС = 58,2 : 19,4 : 19,5 (мас. %) (Zhyhailo et al., 2023). Введення іонів заліза в полімерну мембрану здійснювалося завдяки взаємодії солей заліза із сульфогрупами шляхом витримування зразків протягом 90 хв у розчині  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ .

Каталітичну активність зразків оцінювали за деградацією як модельного забруднювача – барвника МС у присутності  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Встановлено, що ступінь деградації МС при використанні каталізатора 1 становить 84 %, а для каталізатора 2 – 74 %. Вищу ефективність зразка 1 пояснено вищим вмістом сульфогруп АМПС, що сприяє зв'язуванню більшої кількості іонів  $\text{Fe}^{2+}$ , які слугують активними каталітичними центрами в реакції Фентона (Євчук та ін., 2025).

Отже, як гетерогенний наноструктурований композит  $\text{SiO}_2/\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{CuO}$ , так і сульфовмісні полімерні мембрани з іонами  $\text{Fe}^{2+}$  демонструють високу каталітичну активність і є перспективними матеріалами для технологій доочищення стічних і технологічних вод від складних органічних та техногенних забруднювачів.

Євчук, І., Жигайло, М., & Демчина, О. (2025). Полімерні та органо/неорганічні матеріали з протонопровідними та адсорбційними властивостями. У *Ювілейний збірник наукових праць на пошану академіка Романа Володимировича Кучера з нагоди 100-річчя від дня його народження* (Розділ 20, с. 217–224). Львів: Дослідно-видавничий центр НТШ.

Курилець, О. Г., Макідо, О. Ю., Хованець, Г. І., & Васійчук, В. О. (2023). Використання гетерогенної системи Фентона для очищення органівмісних стічних вод. *Інтегровані технології та енергозбереження*, 2, 3–14. <https://doi.org/10.20998/2078-5364.2023.2.01>.

Макідо, О., Хованець, Г., Курилець, О., & Дзядик, М. (2025). Використання системи Фентона на основі гетерогенного багатошарового каталізатора для процесів

- очищення органовмісних стічних вод різного походження. У *Ювілейний збірник наукових праць на пошану академіка Романа Володимировича Кучера з нагоди 100-річчя від дня його народження* (Розділ 19, с. 203–215). Львів: Дослідно-видавничий центр НТШ.
- Deng, Y., & Zhao, R. (2015). Advanced Oxidation Processes (AOPs) in Wastewater Treatment. *Current Pollution Reports*, 1(3), 167–176. <https://doi.org/10.1007/s40726-015-0015-z>
- Makido, O., Khovanets', G., Kochubei, V., & Yevchuk, I. (2022). Nanostructured Magnetically Sensitive Catalysts for the Fenton System: Obtaining, Research, Application. *Chemistry and Chemical Technology*, 16(2), 227–236. <https://doi.org/10.23939/chcht16.02.227>.
- Makido, O., Khovanets', G., Kurylets, O., Dziadyk, M., & Vasiichuk, V. (2025). Fine Treatment of Dairy Wastewater in a Heterogeneous Fenton System. In O. Fesenko & L. Yatsenko (Eds.), *Functional Nanomaterials, Nanocatalysts, Nanotechnologies, and Their Applications. NANO 2024*. Springer Proceedings in Physics, 321(15), 205–216. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-99136-3\\_15](https://doi.org/10.1007/978-3-031-99136-3_15)
- Miklos, D. B., Remy, C., Jekel, M., Linden, K. G., Drewes, J. E., & Hübner, U. (2018). Evaluation of advanced oxidation processes for water and wastewater treatment – A critical review. *Water Research*, 139, 118–131.
- Zhyhailo, M., Demchyna, O., Yevchuk, I., & Makota, O. (2023). Co(II) and Ni(II) removal from aqueous solutions by polymer and polymer/silica adsorbents with sulfo and carboxylic groups. *Acta Chimica Slovenica*, 70(3), 361–370. <https://doi.org/10.17344/acsi.2022.7819>

УДК 504.4.054:628.112 (477.83)

# **АНАЛІЗ ЗАБРУДНЕННЯ АЗОТНИМИ СПОЛУКАМИ ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНИХ ДЖЕРЕЛ ВОДОПОСТАЧАННЯ ЛЬВІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ В УМОВАХ АНТРОПОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ**

**Ірина САХНІЮК<sup>a</sup>, Галина МЕДВІДЬ<sup>b</sup>**

Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, Львів, Україна

<sup>a</sup> e-mail: iryna.s.2000@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0000-6700-1532>

<sup>b</sup> e-mail: halmedvid@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-5059-245X>

## **ANALYSIS OF NITROGEN COMPOUNDS CONTAMINATION IN DECENTRALIZED WATER SUPPLY SOURCES OF LVIV OBLAST UNDER ANTHROPOGENIC LOAD**

**Iryna SAKHNIUK<sup>a</sup>, Halyna MEDVID<sup>b</sup>**

Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals  
of the National Academy of Sciences of Ukraine

Забезпечення населення якісною та безпечною питною водою є однією з головних передумов збереження здоров'я нації та сталого розвитку регіонів. У сільській місцевості та приміських зонах Львівської області значна частина жителів користується децентралізованими джерелами водопостачання – шахтними криницями та індивідуальними мілководними свердловинами. Проте якість води у таких джерелах практично не контролюється

державою, оскільки вони перебувають у приватній власності. Особливу екологічну та гігієнічну небезпеку становить забруднення підземних вод сполуками азотної групи: амонієм ( $\text{NH}_4^+$ ), нітритами ( $\text{NO}_2^-$ ) та нітратами ( $\text{NO}_3^-$ ). На екологічну критичність проблеми безконтрольного накопичення нітратів у колодязях України та ризику для здоров'я населення звертає увагу ряд сучасних дослідників.

Львівська область характеризується високою щільністю сільського населення, інтенсивним розвитком аграрного сектору та специфічними гідрогеологічними умовами (зокрема, наявністю карстових порід у ряді районів), що сприяє швидкій міграції забруднюючих речовин із поверхні у водоносні горизонти. Хронічне споживання води з підвищеним вмістом азотних сполук, особливо нітратів, призводить до розвитку водно-нітратної метгемоглобінемії у дітей, порушень роботи серцево-судинної та ендокринної систем у дорослих.

Метою дослідження є узагальнення та систематизація результатів аналізу якості води децентралізованого водопостачання Львівської області в умовах постійного антропогенного навантаження для виявлення закономірностей поширення іонів амонію, нітритів та нітратів у різних водоносних горизонтах.

Для досягнення поставленої мети було узагальнено та проаналізовано результати хімічних аналізів понад 100 проб води, відібраних з приватних джерел водопостачання (шахтних криниць глибиною 5–15 м та свердловин глибиною 20–50 м) у різних районах Львівської області протягом останніх років. Лабораторні дослідження виконувалися спектрофотометричними методами відповідно до чинних в Україні нормативних документів (ДСТУ, КНД та МВВ). Визначення іонів амонію проводили фотометричним методом із реактивом Несслера за МВВ 081/12-0106-03; вміст нітрит-іонів встановлювали за допомогою реактиву Грісса згідно з КНД 211.1.4.023-95; оцінку концентрації нітрат-іонів здійснювали спектрофотометрично з використанням саліцилової кислоти відповідно до МВВ 081/12-0651-09. Отримані результати порівнювалися з вимогами ДСанПіН 2.2.4-171-10.

Аналіз масиву даних показав наявність чіткої сезонної залежності вмісту азотних сполук у ґрунтових водах. Найвищі концентрації нітратів та амонію у верхніх горизонтах стабільно фіксувалися у весняний період. Це зумовлено інтенсивним таненням снігів та весняними зливами, які викликають підняття рівня ґрунтових вод і активне вимивання накопичених за зиму органічних залишків та мінеральних добрив із поверхні ґрунту безпосередньо у водоносні пласти. Схожі закономірності сезонного транзиту політантів описує С. В. Скок (2020) при дослідженні впливу урбосистем на гідросферу. Узагальнення результатів дозволило виділити такі тенденції:

1. Шахтні криниці (ґрунтові води першого від поверхні горизонту). У більшості проаналізованих криниць зафіксовано перевищення гранично допустимих концентрацій (ГДК) за нітрат-іонами — у 1,5–3,5 раза (при нормі  $50 \text{ мг/дм}^3$ ). Головними джерелами забруднення тут виступають об'єкти приватного сектору: негерметичні септики, фільтрація стоків від місць утримання худоби та надмірне застосування азотних добрив. У цих умовах амонійний азот під дією кисню та нітрифікуючих бактерій швидко окиснюється через токсичні нітрити до стабільних нітратів, які легко мігрують у криниці.

2. Локальні свердловини (глибші водоносні горизонти). У пробах води зі свердловин глибиною понад 20–30 м вміст нітратів переважно перебуває в межах норми. Натомість часто фіксується стійкий підвищений вміст іонів амонію (понад норму 0,5 мг/дм<sup>3</sup>). На відміну від поверхневих джерел, де амоній вказує на свіже антропогенне забруднення, у глибоких горизонтах Львівщини він здебільшого має природне (геогенне) походження. Це пов'язано з глибоким заляганням пластів в анаеробних умовах, де за дефіциту розчиненого кисню процеси нітрифікації блокуються, а азот відновлюється до амонійної форми. Проте в окремих випадках амоній у свердловинах може свідчити про незадовільний технічний стан затрубного простору та перетікання верховодки, що узгоджується із комплексними гідрогеохімічними спостереженнями для джерел Львівського регіону.

Щодо нітритів, то їх концентрація у переважній більшості досліджень не перевищувала встановлених нормативів (0,5 мг/дм<sup>3</sup>). Це пояснюється хімічною нестабільністю нітритів, які є проміжною ланкою в ланцюгу перетворень азоту і швидко переходять у форму нітратів (в аеробних умовах) або амонію (в анаеробних зонах). Наявність нітритів фіксувалася лише як епізодичний показник, що вказує на свіже джерело забруднення, яке надійшло у воду безпосередньо перед моніторингом.

Висновки та пропозиції:

1. Систематизація даних підтверджує незадовільний екологічний стан першого від поверхні водоносного горизонту у приватному секторі Львівської області за показником забруднення нітратами, що має чітко виражений весняний пік.

2. Поширене виявлення підвищеного вмісту амонію у глибоких свердловинах відображає як природні гідрогеохімічні особливості глибоких водоносних пластів регіону (анаеробне відновлення), так і локальні дефекти герметизації свердловин.

3. Для захисту здоров'я населення необхідно розробити програми регулярного моніторингу джерел водопостачання територіальних громад та рекомендувати обов'язкове використання побутових систем зворотного осмосу при виявленні стійких перевищень азотної групи.

Скок, С. В. (2020). Екологічна оцінка впливу урбосистем на якість водних ресурсів. *Екологічні науки*, 4(31), 66–75.

## **TRENDS IN GROUNDWATER LEVELS IN THE UKRAINIAN-POLISH BORDERLAND**

**Halyna MEDVID<sup>1,a</sup>, Tatiana SOLOVEY<sup>2,a</sup>, Olha TELEHUZ<sup>1,b</sup>,  
Vasyl HARASYMCHUK<sup>1,c</sup>, Rafal JANICA<sup>2,b</sup>,  
Agnieszka BRZEZIŃSKA<sup>2,c</sup>, Pavlo SHUBER<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals  
of the NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine

<sup>a</sup> e-mail: halmedvid@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-5059-245X>

<sup>b</sup> e-mail: olga\_telehuz@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0001-5761-7528>

<sup>c</sup> e-mail: v\_harasyrchuk@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0002-4377-2655>

<sup>2</sup> Polish Geological Institute – National Research Institute, Warsaw, Poland

<sup>a</sup> e-mail: tatiana.solovey@pgi.gov.pl; <https://orcid.org/0000-0001-8949-4075>

<sup>b</sup> e-mail: rafal.janica@pgi.gov.pl; <https://orcid.org/0009-0001-7142-5570>

<sup>c</sup> e-mail: agnieszka.brzezinska@pgi.gov.pl; <https://orcid.org/0009-0006-2007-9053>

<sup>3</sup> Ivan Franko National University of Lviv, Lviv, Ukraine

e-mail: pavlo.shuber@lnu.edu.ua; <https://orcid.org/0000-0001-6327-8788>

## **ТЕНДЕНЦІЇ РІВНІВ ПІДЗЕМНИХ ВОД УКРАЇНСЬКО-ПОЛЬСЬКОГО ПРИКОРДОННЯ**

**Галина МЕДВІДЬ<sup>1,a</sup>, Тетяна СОЛОВЕЙ<sup>2,a</sup>, Ольга ТЕЛЕГУЗ<sup>1,b</sup>,  
Василь ГАРАСИМЧУК<sup>1,c</sup>, Рафал ЯНІЦА<sup>2,b</sup>,  
Агнешка БЖЕЗІНСЬКА<sup>2,c</sup>, Павло ШУБЕР<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, Львів, Україна

<sup>2</sup> Польський геологічний інститут – Національний науково-дослідний інститут,  
Варшава, Польща

<sup>3</sup> Львівський національний університет імені Івана Франка, Україна

Groundwater is a strategic resource for drinking water supply and an important component in maintaining ecological balance, especially in transboundary regions where aquifers function within shared hydrogeological systems (Solovey et al., 2023). Under present-day climate warming, the quantitative status of groundwater may change under the influence of increasing air temperature, transformations of the water balance, changes in effective infiltration recharge, and local anthropogenic factors (Szwed, 2015; Urban et al., 2022).

The aim of this study was to identify and compare trends in static groundwater levels in aquifers of the Ukrainian–Polish transboundary area based on historical and modern monitoring data, as well as to assess the possible relationship between these trends and climatic indicators. The study covers the transboundary areas of the Western Bug and San river basins, as well as adjacent parts of the Dniester River basin.

The statistical analysis was carried out for the following monitoring datasets: Ukraine – 1983–1987 and 2000–2021, including the Quaternary (Q), Neogene (N), and Upper Cretaceous (K<sub>2</sub>) aquifers; Poland – 1977–1988 and 1989–2025, including the Upper Cretaceous (K<sub>2</sub>), Quaternary (Q), and Cretaceous–Paleogene flysch complex (K<sub>2</sub>–Pg).

Linear regression, the non-parametric Mann–Kendall test, and the Theil–Sen slope estimator were applied to assess the direction, magnitude, and statistical

significance of changes. Calculations were performed separately for countries, monitoring periods, aquifers, and seasonal series. In addition, trends in mean annual air temperature and annual precipitation totals were analysed using data from meteorological stations in Lviv Oblast.

The results showed that groundwater-level dynamics within the Ukrainian-Polish transboundary area are spatially and stratigraphically heterogeneous. In the Ukrainian part, during the short historical period of 1983–1987, all three studied aquifers –  $K_2$ , N, and Q – showed statistically significant upward annual trends.

In the modern period of 2000–2021, the behaviour of the Ukrainian aquifers became differentiated. The Upper Cretaceous aquifer retained a weak positive direction of change, but the trend was not statistically significant: Theil–Sen slope = 0.0108 m/year,  $\tau = 0.117$ ,  $p = 0.468$ . The Neogene aquifer also showed a weak positive but statistically insignificant annual trend: Theil–Sen slope = 0.0065 m/year,  $\tau = 0.100$ ,  $p = 0.539$ . In contrast, the Quaternary aquifer demonstrated a stable and statistically significant decline in groundwater levels: Theil–Sen slope =  $-0.0682$  m/year,  $\tau = -0.688$ ,  $p < 0.001$ . This decline was also confirmed by seasonal series, indicating the high sensitivity of the shallow Quaternary aquifer to modern changes in the water regime.

In the Polish part, the most statistically robust trend was established for the  $K_2$  aquifer. During the short historical period of 1977–1988, it showed a positive but statistically insignificant tendency. In contrast, during the modern period of 1989–2025, the  $K_2$  aquifer demonstrated a statistically significant decline in groundwater levels: Theil–Sen slope =  $-0.0902$  m/year,  $\tau = -0.565$ ,  $p < 0.001$ . For the  $K_2$ –Pg complex, within the actual series of 2007–2025, a weak tendency toward rising groundwater levels was observed; however, it was not statistically significant according to the Mann–Kendall test. The Quaternary aquifer in the Polish part, on the contrary, showed a weak downward direction, which also did not reach statistical significance at the annual level.

The comparison between Ukraine and Poland revealed the absence of a single synchronous trend for the entire transboundary aquifer system. The most appropriate direct comparison is possible for the Upper Cretaceous aquifer; however, in the modern period it shows different behaviour on the two sides of the border: in Ukraine, a weak statistically insignificant tendency toward rising or stabilisation of groundwater levels; in Poland, a statistically significant decline. For the Quaternary aquifer, a downward direction is observed in both countries, but in Ukraine it is statistically confirmed and seasonally stable, whereas in Poland it remains weak and statistically insignificant.

Climatic data indicate statistically significant warming in the study area. According to the Theil–Sen estimator, the rate of increase in mean annual air temperature at meteorological stations is approximately  $0.041$ – $0.060$  °C/year, whereas annual precipitation totals do not show a statistically significant monotonic trend. Correlations between detrended groundwater levels and climatic indicators are mostly weak and statistically insignificant. The most climate-sensitive response is observed in the Quaternary aquifer of Ukraine, where declining groundwater levels are associated with a negative, nearly statistically significant relationship with air temperature.

Thus, modern climate warming forms an important regional background for changes in the groundwater regime; however, its impact is complex and indirect.

The most reliable modern downward signals occur in different aquifers: in Poland, in the Upper Cretaceous aquifer, and in Ukraine, in the Quaternary aquifer. This highlights the need for separate analysis of each aquifer, taking into account local hydrogeological structure, recharge conditions, confined or unconfined conditions, seasonal water balance, and anthropogenic pressure. Further long-term, synchronised, and methodologically consistent groundwater monitoring on both sides of the Ukrainian–Polish border is essential for assessing the vulnerability of transboundary groundwater resources under further climate change.

Solovey, T., Janica, R., Harasymchuk, V., Przychodzka, M., Medvid, H., & Yanush, L. (2023). The importance of transboundary aquifer management between Poland and Ukraine for the protection of common water. *Geological Quarterly*, 67, 33. <https://doi.org/10.7306/gq.1703>

Szwed, M. (2015). The elements of water balance in the changing climate in Poland. *Advances in Meteorology*, 2015, 149674. <https://doi.org/10.1155/2015/149674>

Urban, G., Kuchar, L., Kępińska-Kasprzak, M., & Łaszyca, E. Z. (2022). A climatic water balance variability during the growing season in Poland in the context of modern climate change. *Meteorologische Zeitschrift*, 31, 349–365. <https://doi.org/10.1127/metz/2022/1128>

UDK 556.3(477.43/44)

## **FRESH GROUNDWATER RESOURCES OF PODILLIA**

**Myroslav SYVYI**

V. Hnatyuk Ternopil National Pedagogical University, Ternopil, Ukraine  
e-mail: [info@tnpu.edu.ua](mailto:info@tnpu.edu.ua); <https://orcid.org/0000-0002-3150-4848>

## **РЕСУРСИ ПІСНИХ ПІДЗЕМНИХ ВОД ПОДІЛЛЯ**

**Мирослав СИВИЙ**

Тернопільський національний педагогічний університет імені В. Гнатюка,  
Тернопіль, Україна

The structural and geographical analysis of the distribution of freshwater groundwater resources across the territory of Podillya, their study and development allows us to make certain generalizations (Syvyi, 2004).

The values of predicted groundwater resources (PRW) of the administrative districts of Podillya naturally decrease in the direction from the northwest to the south and southeast.

The exploration of predicted resources in the region as a whole is low and averages 13–22 %. The resources of Khmelnytskyi region are relatively better studied. In general, the better explored PRW are in areas with a developed economy.

The level of development of predicted resources of Podillya regions is also very low and is 6–10 %. Operational reserves are developed somewhat better – 33–31 % in Khmelnytskyi and Ternopil regions and 11% in Vinnytsia regions.

Due to the low level of development of groundwater resources in the regions, there are significant reserves of them – 2073 thousand m<sup>3</sup>/day in Ternopil, 1773 thousand m<sup>3</sup>/day in Khmelnytskyi and 796 thousand m<sup>3</sup>/day in Vinnytsia

regions. The explored reserves in the regions are much more modest – 193, 302 and 130 thousand m<sup>3</sup>/day, respectively.

According to the values of the average modules of the groundwater resource and the provision of territorial communities (TG) of the former districts of the groundwater resource within the Podillia region, three large subregions are more or less clearly distinguished.

The first of them covers the western, central and northern territories of Ternopil region, the northern and central – of Khmelnytskyi region. This territory is well provided with fresh groundwater resources. The average modules of the groundwater resources here are 100–300 and more m<sup>3</sup>/day per km<sup>2</sup>, and the provision of the administrative units of groundwater resources is mainly more than 2 m<sup>3</sup>/day per person (Syvyi et al., 2022).

The second occupies the southern TG of the Ternopil region, the entire southern part of the Khmelnytskyi region and several TGs of the Vinnytsia region, stretched along the lines of Bar–Shargorod–Tomashpil–Kryzhopil and Zhmerynka–Tyvriv–Tulchyn. The average modules in this territory are 50–100 m<sup>3</sup>/day per km<sup>2</sup>, and the provision varies within 0.5–2 m<sup>3</sup>/day per person. The territory can be considered satisfactorily provided with groundwater resources. In general, the Ternopil region stands out for its significantly larger size of forecast groundwater resources compared to the Khmelnytskyi and, especially, Vinnytsia regions. The value of the PRPV of the Ternopil region is almost 3 times higher than the corresponding indicator of the Vinnytsia region (2206 and 885 thousand m<sup>3</sup>/day) (Syvyi et al., 2023).

The third includes the southern territories located along the Dniester in Khmelnytsia and Vinnytsia regions, from Novoushytska to Pishchanska TG, as well as all other Vinnytsia regions (except for the above) – northern, eastern and south-eastern. This territory is poorly supplied with fresh groundwater resources. The average PRPV modules here are low – up to 50 m<sup>3</sup>/day per km<sup>2</sup>, the provision – up to 0.5, occasionally – 0.5–1.0 m<sup>3</sup>/day per person.

The values of the average modules of the groundwater in the territory of the Volyn-Podilskyi artesian basin (WPAB) everywhere significantly exceed the corresponding indicators within the Ukrainian fractured and stratified water basin, which, apparently, explains the general patterns of distribution of groundwater resources over the Podillia area analyzed above. The main part of both the groundwater and operational reserves in the territory of the WPAB falls on the aquifer of the marl-cretaceous layer of the Lower Chalk (59 % of the total value of the groundwater in the basin). Water supply within the basin is carried out mainly at the expense of groundwater – these waters are almost completely used for their needs by large cities in the region – Ternopil, Khmelnytskyi, etc. Here, however, it should be noted that although the basin as a whole is quite promising in terms of the reserve of PRPV, some settlements within its borders are located on areas of low-productivity aquifers, the formation of which resources is limited by unfavorable natural factors and for these reasons cannot be fully provided with groundwater. For the city of Khmelnytsky, in particular, 23 promising areas are planned, which, however, are located at a certain distance from it. A similar situation is possible in the future for such regional centers as Ternopil, Rivne, Lutsk, the provision of which can be carried out either by intensifying the productivity of water intakes in promising areas, or by additional attraction of surface runoff (Syvyi et al., 2023).

The main aquifers of the Ukrainian Fractured and Formation Water Basin (UFFW), from which settlements of Vinnytsia region and northeastern regions of Khmelnytsia region are supplied, are Sarmatian and Precambrian, to a lesser extent – Cretaceous and Quaternary. It should be noted that a number of former districts of Vinnytsia region, conditionally attributed by us to satisfactorily provided with groundwater resources (Barsky, Shargorodsky) exploit the waters of the Sarmatian aquifer, while the territories that use the waters of the Precambrian horizon belong to the least provided PRPV. They are located along the Dniester: Mohyliv-Podilsky, Yampil, Pishchanka, as well as in the northeast: Kozyatyn, Pohrebyshe, Orativ, Teplyk, etc.

In the TG of the former Chechelnytsky and, partially, Pishchansky districts, which are located within the Black Sea artesian basin, generally small reserves of the Sarmatian horizon are exploited.

As for monitoring the quality and regime of groundwater, pollution within the WPAB is generally local in nature and is observed in wells, domestic wells and captured springs. Groundwater of the Quaternary and Neogene aquifers is contaminated mainly with nitrates, the content of which in some wells reaches 500 mg/dm<sup>3</sup> at a maximum permissible concentration (MPC) of 45 mg/dm<sup>3</sup>.

The water intakes of the basin operate mostly stably, without significant deviations in the hydrodynamic and hydrochemical regimes.

The reduction in the use of mineral fertilizers and pesticides in recent years has led to an improvement in the qualitative composition of groundwater, but for agro-industrial areas the problem of the presence of residual amounts of pesticides and nitrogen compounds in groundwater used for domestic and drinking water supply remains relevant.

Syvyi, M. (2004). *Mineral resources of Podillia: Constructive and geographical analysis and synthesis* [Mineralni resursy Podillia: Konstruktyvno-heohrafichniy analiz i syntez]. Ternopil: Pidruchnyky & Posibnyky. [in Ukrainian]

Syvyi, M., Havryshok, B., & Demianchuk, P. (2023). *Mineral and raw material potential of Khmelnytskyi region: Development problems, prospects* [Mineralno-syrovynnyi potentsial Khmelnychchyny: Problemy osvoennia, perspektyvy]. Ternopil. [in Ukrainian]

Syvyi, M., Kitura, V., Havryshok, B., & Kitura, T. (2022). *Mineral and raw material resources of Ternopil region: Current state, prospects* [Mineralno-syrovynni resursy Ternopilshchyny: Suchasnyi stan, perspektyvy]. Ternopil. [in Ukrainian]