

МІНЕРАЛОГІЯ, ГЕОХІМІЯ ТА ПЕТРОГРАФІЯ

УДК 550.8.056

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.110.10>

Сергій ВИЖВА¹, член-кор. НАН України, д-р геол. наук, проф.
ORCID ID: 0000-0003-4091-6649
e-mail: s.vyzhva@knu.ua

Іван ГАФИЧ², канд. геол.-мінералог. наук
e-mail: gafichip@dtek.com

Андрій ГОЖИК¹, канд. геол.-мінералог. наук, доц.
ORCID ID: 0000-0001-6198-5681
e-mail: andrii.gozhyk@knu.ua

Олександр ШАБАТУРА¹, д-р геол. наук, доц.
ORCID ID: 0000-0003-0810-3701
e-mail: oshabatura@knu.ua

Сергій ШНЮКОВ¹, д-р геол. наук, доц.
ORCID ID: 0000-0003-1338-5272
e-mail: shnyukov54@knu.ua

¹Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна
²ДТЕК Нафтогаз

**ГЕОХІМІЧНО-ПЕТРОФІЗИЧНА ОЦІНКА
ЛІТОЛОГІЧНОЇ ТА КОЛЕКТОРСЬКОЇ МІНЛИВОСТІ КЕРНУ СВЕРДЛОВИН
НА ПРИКЛАДІ РУНОВЩИНСЬКОЇ НАФТОГАЗОНОСНОЇ ПЛОЩІ
ДНІПРОВСЬКО-ДОНЕЦЬКОЇ ЗАПАДИНИ (ПОПЕРЕДНІ РЕЗУЛЬТАТИ)**

(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. О.М. Карпенком)

Вступ. Для реальних розрізів свердловин Руновщинської нафтогазоносної площі Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ), які містять продуктивні горизонти, виконано комплексне петрофізично-геохімічне дослідження репрезентативної серії зразків керна ($n=79$). Мета роботи – перевірка можливості повноцінної інтеграції його результатів з даними геофізичного дослідження свердловин (ГДС) для підвищення ефективності інтерпретації геолого-геофізичних даних.

Методи. Для всіх зразків керна після їх уніфікованої підготовки та попереднього петрографічного вивчення визначено петрофізичні параметри, в тому числі фільтраційно-ємнісні властивості (пористість, проникність) порід, а також концентрація в них всіх головних компонентів та найважливіших мікроелементів (WDXRF, EDXRF). Результати визначень об'єднано в єдиний петрофізично-геохімічний банк даних.

Результати. За вмістом головних елементів розраховано вміст кварцового (Qtz), глинистого (CLAY), карбонатного (CARB), органічного (ORG) компонентів порід та кількісно охарактеризовано літологію розрізів. На прикладі сірки продемонстровано можливість виділення локальних геохімічних аномалій, які є індикаторами пластів з припливом нафти. Встановлено стійкі кореляційні зв'язки між інструментально визначеною пористістю і абсолютною проникністю, вмістом модельних компонентів Qtz, CLAY та коефіцієнтом $(K_2O + Na_2O + Al_2O_3 + TiO_2)/LOI$, які значно поліпшені за результатами використання нейронних мереж.

Висновки. Підтверджено ефективність геохімічних методів (elemental geochemistry) у варіантах дослідження керну та шламів свердловин ("геохімічний каротаж") для впевненого (без інформаційних втрат і викривлень) поширення результатів прямого "точкового" вивчення фільтраційно-ємнісних та інших параметрів зразків керну в інтервалах його відбору на весь розріз свердловини для повноцінної інтеграції з даними ГДС, досягнення максимально однозначної кількісної інтерпретації всіх даних та потреб "підземної навігації" (geosteering) при бурінні. Підтверджено доцільність використання нейронних мереж для підвищення точності визначення фільтраційно-ємнісних властивостей з використанням петрофізичних і геохімічних даних.

Ключові слова: петрофізичні параметри, елементний склад, кількісна літологія, геохімічний каротаж свердловин, вуглеводні, Дніпровсько-Донецька западина.

Вступ

Ефективна інтерпретація даних сейсморозвідки та параметричного буріння, достовірна оцінка перспектив потенційно нафтогазоносних площ і підрахунок запасів вуглеводневої сировини потребують детального стратиграфічного та літологічного розчленування розрізів із надійним визначенням петрофізичних параметрів усіх літотипів і, особливо, фільтраційно-ємнісних властивостей порід-колекторів. Зазвичай базою для цього слугують результати інтерпретації даних геофізичного дослідження свердловин (ГДС), а дані прямого петрофізичного та літологічного вивчення зразків керну використовуються як "внутрішній стандарт" для уточнення результатів та

обґрунтування їх поширення на весь розріз. Для цього інтервали та детальність відбору таких зразків, в ідеалі, повинні характеризувати всі принципово важливі для інтерпретації частини розрізу. Але на практиці наявний керновий матеріал далеко не завжди репрезентативно перекриває навіть потенційно перспективні інтервали, які виділяються за даними ГДС. Зауважимо, що таке становище характерне не тільки для ділянок зі старим фондом свердловин, але й для нових територій, оскільки сам відбір керна планується за аналогією із сусідніми площами, а можливості оперативної корекції відбору в процесі буріння обмежені з технічних причин.

© Вижва Сергій, Гафич Іван, Гожик Андрій, Шабатура Олександр, Шнюков Сергій, 2025

ISSN 1728-2713 (Print), ISSN 2079-9063 (Online)

Таким чином, реальна ситуація відрізняється від ідеальної (повне перекриття розрізу свердловини даними як прямих петрофізичних/літологічних досліджень за керном, так і результатами ГДС), що неминує знижує достовірність кінцевих результатів. Тобто існує не розв'язана повністю **загальна проблема**, яка полягає у відсутності простої, але ефективної технології впевненого (без втрат і викривлень) поширення результатів прямого "точкового" дослідження зразків керна в інтервалах його відбору на весь розріз свердловини для повноцінної інтеграції з ГДС та досягнення максимально однозначної кількісної інтерпретації всіх даних. Природно, що важливою вимогою до такої технології є й можливість одержати результати паралельно з реалізацією традиційного комплексу ГДС або навіть його випереджаючи. На сьогодні доцільно виділити такі **частини загальної проблеми**, які підлягають послідовному вирішенню: (1) обґрунтування вибору засад потрібної технології, (2) підтвердження правомірності вибору шляхом його пілотного тестування, (3) розробка технології та її апробація.

Для **частини (1) загальної проблеми** на сьогодні є лише одне та фактично безальтернативне рішення, яке полягає у розширеному використанні геохімічних методів у варіантах дослідження керна та шламу свердловин ("геохімічний каротаж"). Це рішення базується на результатах численних геохімічних та ізотопно-геохімічних досліджень, виконаних за останні більш ніж 40 років у галузі хемотратиграфії (Berger, & Vincent, 1981; Chemostratigraphy..., 2019; Brookfield et al., 2020; Ramkumar, Nagarajan, & Santosh, 2021 тощо). Багато в чому вони безпосередньо орієнтовані саме на розгляд прикладних аспектів цієї частини проблеми, включаючи оцінку кількісної мінералогії/літології та колекторських властивостей порід за їх елементним складом (Herron, 1986; Herron, & Herron, 1998; Harvey et al., 1998; Hupp, & Donovan, 2018; Cosme et al., 2025 тощо). *Враховуючи сучасне значне поширення, універсальність, відносно невелику вартість та швидкий розвиток обладнання для рентгенофлуоресцентного елементного аналізу (X-ray fluorescence – XRF), в тому числі його мобільних ("ручних") варіантів (handheld energy dispersive X-ray fluorescence spectrometers – hhEDXRF (pXRF, HHXRF або EDXRF), саме цей геохімічний напрям (використання розподілу головних та мікроелементів з визначенням їх концентрацій на базі XRF) вже зараз впевнено займає пріоритетну позицію та має всі шанси зберегти її на довгу перспективу (Jarvie et al., 2007; Rowe, Hughes, & Robinson, 2012; Martin, 2019; Martin, & Carr, 2020 тощо). Зауважимо, що ця позиція може бути суттєво посилена за умови контролюючого ("точкового") доповнення можливостями, які надають набагато дорожчі системи автоматизованого мінералого-петрографічного вивчення зразків керна і шламу (QEMSCAN, MLA тощо) (Blannin et al., 2021; Jiang, 2012 тощо).*

У цій статті на прикладі реальних розрізів свердловин Руновщинської нафтогазоносною площі ДДЗ, які містять продуктивні горизонти, розглядається **частина (2) загальної проблеми**. Тому **мета роботи** полягала у підтвердженні правильності вибору геохімічних засобів як основи технології, що обговорюється, шляхом їх пілотного тестування. **Завданням роботи** було: (1) репрезентативне опробування керна; (2) його комплексна підготовка (препарація зразків/проб); (3) літологічні, петрофізичні та геохімічні (аналітичні) дослідження; (4) створення петрофізично-геохімічного банку даних, що об'єднує всю одержану інформацію; (5) тестовий розрахунок кількісної літології розрізів, виділення

геохімічних аномалій і оцінка можливості визначення фільтраційно-ємнісних (колекторських) параметрів порід за геохімічними даними; (6) визначення перспектив використання нейронних мереж для комплексної інтерпретації даних. Виконання перелічених завдань автори розглядають у контексті підготовки до розв'язання сформульованої вище **частини (3) загальної проблеми**.

Об'єкт дослідження. Район досліджень належить до осової частини ДДЗ (Атлас ..., 1984 тощо) та розташовується в межах її центрального та найбільш зануреного сегмента з потужним (9–11 км) осадовим комплексом, який складений утвореннями палеозойської, мезозойської та кайнозойської ератем. Основними структурними елементами є глибокі западини (власне занурена частина ДДЗ) та позитивні валоподібні структури (Опішнянсько-Матвіївська структура, Руновщинське підняття та західна частина Кочубейівсько-Розпашнівського валу), утворені соляним тектоногенезом. У межах району досліджень (відповідає Глинсько-Солохівському та Машівсько-Шебелинському нафтогазоносним районам із щільністю нерозвіданих ресурсів вуглеводнів 10–50 тис. т/км²) поклади вуглеводнів виявлено в широкому стратиграфічному інтервалі – від юрських до турнейських утворень (діапазон глибин від 430 до 6300 м).

Власне Руновщинська площа приурочена до одного підняття, яке по відкладах нижнього і середнього карбону є вузькою брахіантиклінально субширотного простягання розміром 6,0×1,5 км, яка прорвана соляним штоком. Південне крило підняття круте, північне – полого. Руновщинський соляний шток належить до типу закритих передверхньопермських, грибоподібних. Основні елементи структури ускладнені різнонаправленою системою порушень, серед яких переважають скиди з північно-східним падінням. За сейсмічними даними (2D) минулих років та за результатами параметричного буріння на ділянці східної перикліналі Руновщинського підняття простежується тектонічний вузол, ускладнений міжблоковою складкою.

Продуктивні горизонти залягають на глибинах 300–5500 м. Поклади вуглеводнів пов'язані з пластовими та комбінованими літологічно і тектонічно екранованими пастками. Колекторами є теригенні і карбонатні породи. Перспективи нафтогазоносності пов'язуються з відкладами нижньопермського, верхньокам'яновугільного, середньокам'яновугільного і нижньокам'яновугільного комплексів, продуктивність яких підтверджено на сусідніх газоконденсатних і нафтогазоконденсатних родовищах.

За результатами комплексних геолого-геофізичних робіт, пошукового і розвідувального буріння в межах площі відкрито три родовища вуглеводнів: Руновщинське газове, Східноруновщинське газове і родовище Академіка Шпака нафтове. За даними Державної служби геології і надр України, на родовищі Академіка Шпака обліковані запаси нафти категорії С2 становлять 2730 тис. т, категорії С3 – 2006 тис. т та перспективні ресурси газу категорії С3 – 1640 млн м³; на Руновщинському родовищі запаси вільного газу категорії С2 – 507 млн м³ та категорії С3 – 483 млн м³; на Східноруновщинському родовищі запаси вільного газу категорії С2 – 349 млн м³.

У роботі досліджено репрезентативні фрагменти розрізів свердловин № 100, 101 та 110, які представлені як теригенними, так і карбонатними породами і містять горизонти з підтвердженою продуктивністю. Загальний обсяг опробування становив 287 зразків. Повний комплекс геохімічних і петрофізичних параметрів визначався для 79 зразків.

Методи

Підготовка зразків (проб). Всі зразки керна масою 0,5–1,0 кг підготовлено до лабораторних досліджень за уніфікованою схемою, яка передбачала виготовлення препаратів (циліндрів) для вимірювання петрофізичних параметрів, петрографічних шліфів і геохімічних порошкових проб (<50 мкм) і забезпечувала їх репрезентативність та взаємну зіставність результатів досліджень.

Петрографічні дослідження. Проводились за стандартними методиками з використанням поляризаційних мікроскопів ПОЛАМ РП1 та ПОЛАМ Р311.

Петрофізичні дослідження. Виконувались за стандартними методиками в атмосферних умовах і умовах, що моделюють пластові. Визначались такі параметри: пористість, виміряна в атмосфері азоту (φ_N), пористість при насиченні пластовим розчином (φ_L), проникність (k). Результати досліджень достатньо повно висвітлені в публікаціях (Безродна, & Вижва, 2019; Вижва та ін., 2019; Вижва та ін., 2018).

Аналітичні дослідження. Для всіх геохімічних проб методом рентгено-флуоресцентного аналізу (XRF) в хвильово- та енергодисперсійному варіантах (WDXRF та EDXRF) на рентгенівських спектрометрах CPM-25, CEP-01 (ElvaX-Mini / ElvaX-Light) та РФС-РД визначено концентрації всіх головних та мікроелементів SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , $\text{Fe}_2\text{O}_3^{\text{total}}$, MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , P_2O_5 , S , Cl , H_2O^- , LOI , Ni , Cu , Zn , Ga , As , Br , Rb , Sr , Y , Zr , Nb , Pb , Th , U , Ba , La , Ce , Pr , Nd ($\text{Fe}_2\text{O}_3^{\text{total}}$ – загальне залізо у формі Fe_2O_3 , H_2O^- та LOI – втрати маси при прожарюванні відповідно при 110 та 1100 °C). Межа виявлення (DL): 0,0n-0, n wt% та n-n×10 ppm для головних оксидів та мікроелементів відповідно. Аналітична похибка (2σ): ≤10 відн.% для концентрацій ≥10×DL. Контроль якості (випадкова та систематична похибка) аналітичних визначень та формування кінцевого банку даних здійснювалось за методиками, які охарактеризовані в роботах (Lazareva et al., 2019a; 2019b; Lazareva et al., 2025).

Всі лабораторні дослідження виконано в Центрі колективного користування науковим обладнання "Сучасні технології дослідження речовини Землі і Сонячної

системи" (ЦКНО СДР) на базі Петрофізичної лабораторії і Лабораторії рентгенівських і мікроскопічних досліджень мінеральної речовини (X-RayMicroLab) ННІ "Інститут геології". Зведені результати досліджень наведено в електронному Додатку (Appendix A, Table S1).

Результати

Кількісна літологія розрізів. Розрахунок кількісного мінерального складу (quantitative mineralogy) та визначення кількісних літологічних характеристик (quantitative lithology) осадових порід за їх елементним складом є складним завданням, вирішенню якого присвячено безліч робіт (Herron, 1986; Herron, & Herron, 1998; Harvey et al., 1998; Hupp, & Donovan, 2018 тощо). Однак запропоновані алгоритми на практиці далеко не завжди забезпечують однозначні та достовірні результати, що пояснюється переважно складною та перемінною хімічною композицією мінералів групи глин (передусім монтморилоніту та іліту), які є обов'язковим і значущим компонентом осадових утворень, а також складнощами її прямого визначення навіть засобами електронно-зондового мікроаналізу (EPMA). Тому на сьогодні зберігається актуальність подальших розробок.

Так, у цій роботі застосовано оригінальний підхід (Shnyukov et al., 2021 тощо), який полягає у використанні генералізованої чотириконтентної моделі (рис. 1), що оперує такими провідними компонентами осадових утворень: Qtz (кварцовий), CLAY (глинистий), CARB (карбонатний), ORG (органічний). Додаткові компоненти (AC), які присутні не завжди і в невеликих концентраціях, наприклад галіт, гетит, пірит, гіпс, ангідрид тощо, розглядаються і розраховуються окремо. Модель призначена для вирішення фундаментальних завдань, зв'язаних з оцінкою репрезентативності великооб'ємного опробування теригенних відкладів різноманітного походження (флювіогляціальних, алювіальних, дельтових, прибережно-морських, шельфових та глибоководних) для дослідження геохімії їх великих циркон-монацитових детритових популяцій, спрямованого на моделювання еволюції верхньої континентальної земної кори (Shnyukov et al., 2019 тощо).

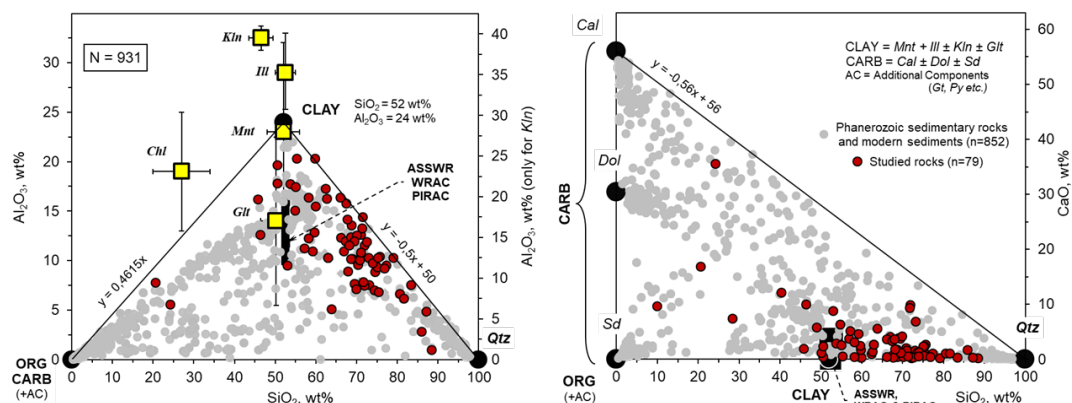


Рис. 1. Зіставлення вмісту головних оксидів (Al_2O_3 , CaO , SiO_2) в досліджених зразках з композицією різноманітних фанерозойських осадових порід, а також сучасних алювіальних, дельтових і морських (шельфових і глибоководних) відкладів у рамках генералізованої чотириконтентної літологічної моделі (Shnyukov et al., 2021)

Моделні компоненти складу порід: Qtz = кварцовий, CLAY = глинистий, CARB = карбонатний, ORG = органічний, AC = додаткові компоненти (галіт, гетит, пірит, гіпс, ангідрид тощо).

Середній склад мінералів групи глин: Mnt = монтморилоніт, Ill = іліт, Glt = глауконіт, Kln = каолініт, Chl = хлорит (природні варіації складу показано планками).

Теоретичний склад карбонатів: Cal = кальцит, Dol = доломіт, Sd = сидерит.

Оцінки складу найближчих природних аналогів компонента CLAY: WRAC = World River Average Clay (Bayon et al., 2015), ASSWR = Average Suspended Sediment in World Rivers (Viers et al., 2009), PIRAC = Peninsular Indian River Average Clay (Babu et al., 2020)

Таке спрямування та генералізація провідних компонентів відразу зумовлюють обмеженість застосування моделі лише відкладами/породами, що утворились унаслідок денудації великих ділянок земної кори, складених максимально широким розмаїттям гірських порід. Обов'язковою умовою є їх глибоке вивітрювання та повне перетворення всіх первинних породотвірних мінералів (за винятком кварцу) на мінерали групи глин. Однак ці обмеження компенсуються тим, що саме в таких умовах реалізується природне репрезентативне опробування всіх петротипів області дренажу з максимальним проявленням не тільки осадової диференціації, але й ефекту гомогенізації мобілізованої корової речовини (Shnyukov et al., 2019), який забезпечує формування ефективно осередненого компонента CLAY – суміші переважно складу монтморилоніт + іліт ± каолініт (рис. 1). Стабільність його хімічної композиції та одержана її реалістична оцінка ($\text{SiO}_2 = 52$; $\text{Al}_2\text{O}_3 = 24$ wt%) саме й відкриває можливість розрахунку вмісту всіх модельних компонентів в осадових породах за їх елементним складом (Shnyukov et al., 2021). Ця можливість неодноразово підтверджена апробацією як ранніх, так і більш розвинених версій моделі та розрахункових процедур (Shnyukov et al., 2001; Shnyukov et al., 2002; Lazareva et al., 2018; Vyzhva et al., 2021).

Досліджені карбон-пермо-тріасові осадові породи свердловин № 100, 101 та 110 за літолого-фаціальними ознаками (ряди: аргіліти – алевроліти – пісковики – вапнисті пісковики – вапняки, мергелі – глини – піски), геолого-структурною і палеогеографічною позицією (центральна частина ДДЗ) та джерелом постачання теригенного матеріалу (принаймні одна велика ділянка верхньої континентальної кори – Український щит) цілком укладаються в обмеження розглянутої чотириккомпонентної моделі, а за хімічною композицією добре узгоджуються з літологічно зумовленими закономірностями зміни вмісту головних оксидів (SiO_2 , Al_2O_3 , CaO) в різноманітних фанерозойських осадових породах та сучасних алювіальних, дельтових і морських відкладах, які складають її фактологічну основу (рис. 1). Це підтверджує коректність застосування моделі для одержання кількісної літологічної характеристики досліджених зразків керн та відповідних інтервалів свердловин.

Результати розрахунку за наведеними в роботі (Shnyukov et al., 2021) процедурами представлено на рис. 2. Як бачимо, розрахована літологія розрізу, яка добре узгоджується з даними попередньо проведених традиційних петрографічних досліджень, на відміну від них має генералізований, спрощений вигляд. Але це спрощення є оптимальним, оскільки не призводить до принципових інформаційних викривлень і втрат і повністю компонується кількісним характером даних (quantitative lithology), що забезпечує просте кореляційне зіставлення безпосередньо з результатами петрофізичних досліджень та ГДС. До того ж використання більш розвинених версій чотириккомпонентної моделі та розрахункових процедур, які розробляються нині, здатне значно підвищити літологічну інформативність результатів за рахунок деталізації та оцінки вмісту карбонатів, додаткових компонентів (AC) тощо.

Геохімічні аномалії. Для дослідженого розрізу зафіксовано три явні локальні аномалії вмісту сірки, які приблизно однакові за своєю високою контрастністю та, очевидно, зв'язані з міграцією вуглеводнів (рис. 2). Вони деталізовані шляхом диференціації внеску різних мінеральних форм елемента: сульфатна сірка оцінена як вміст S, зв'язаної з CaO у формі гіпсу та/або ангідриду, а сульфідна – як її надлишок, не забезпечений наявним

CaO. Сума концентрацій обох форм S відповідає її загальному вмісту.

Як видно з рис. 2, ці аномалії відповідають наявним продуктивним горизонтам Г-6, Г-7в та Г-7н, але, за стабільно невеликої пористості по всьому розрізу, складним чином співвідносяться з абсолютною проникністю порід – високі значення цього параметра характерні виключно для горизонтів Г-7в та Г-7н, – причому приплив нафти зафіксовано лише в останньому випадку. Особливістю геохімічної аномалії горизонту Г-7н є невеликий внесок сульфідної сірки в її амплітуду порівняно з аномаліями горизонтів Г-6 та Г-7в (рис. 2). Приймаючи, що інтенсивність розвитку сульфідної мінералізації зумовлюється тривалістю переважання відновних умов, ці дані можуть бути обережно інтерпретовані як свідчення досить довгої міграції по горизонтах Г-6 та Г-7в саме нафти, яка потім була заміщена циркуляцією підземних вод. Це призвело до розвитку сульфатної мінералізації в пустотному просторі та закономірного зниження проникності порід, причому у випадку горизонту Г-6 таке зниження набуло радикального характеру. Для горизонту Г-7н послідовність подій була протилежною, тобто підземні води відносно недавно були заміщені нафтою, про що й свідчить її зафіксований приплив.

Наведена інтерпретація потребує додаткового обґрунтування та підтвердження іншими прикладами. Однак вже нині можна констатувати, що розглянутий випадок демонструє можливість виділення локальних геохімічних аномалій, які є індикаторами горизонтів з можливим припливом нафти. Зауважимо, що вагомий, однак далеко не повністю визначений перспективи має використання мікроелементного складу порід для вирішення подібних завдань. Однак їх з'ясування вимагає застосування спеціальних методик для прецизійного врахування фонових умов та ідентифікації слабких геохімічних аномалій, які комплементарні використаній чотириккомпонентній літологічній моделі та неодноразово разом з нею апробовані (Shnyukov et al., 2001; 2002; Lazareva et al., 2018; Shnyukov et al., 2021; Vyzhva et al., 2021).

Фільтраційно-ємнісні (колекторські) параметри порід (ФЄП). Простий кореляційний аналіз (табл. 1) дає змогу припустити, що колекторські параметри досліджених порід, насамперед пісковиків, контролюються значною мірою їх мінеральним складом.

Це підтверджується й встановленими кореляційними залежностями проникності від вмісту модельних компонентів Qtz та CLAY (рис. 3), а також пористості від значень більш складних поліелементних коефіцієнтів (наприклад рис. 4). Однак подібні регресійні залежності достовірні лише в окремих літологічних групах або інтервалах свердловин. В умовах агрегованої вибірки їхня ефективність для прогнозу колекторських параметрів порід значно погіршується.

Поліпшення ситуації можливе за умови залучення до розгляду широкого переліку мікроелементів з контрастними властивостями та поведінкою на всіх етапах літогенезу. Це дає змогу очікувати їх високу ефективність як елементів-індикаторів фаціальних умов накопичення та подальшого діа- та катагенезу осадових утворень. Однак реалізація потенційної інформативності мікроелементів потребує проведення спеціальної програми досліджень з використанням у т. ч. методик прецизійного розрахунку фонових умов, які обговорені вище для випадку ідентифікації слабких аномалій як індикаторів потенційно нафтогазоносних горизонтів розрізу.

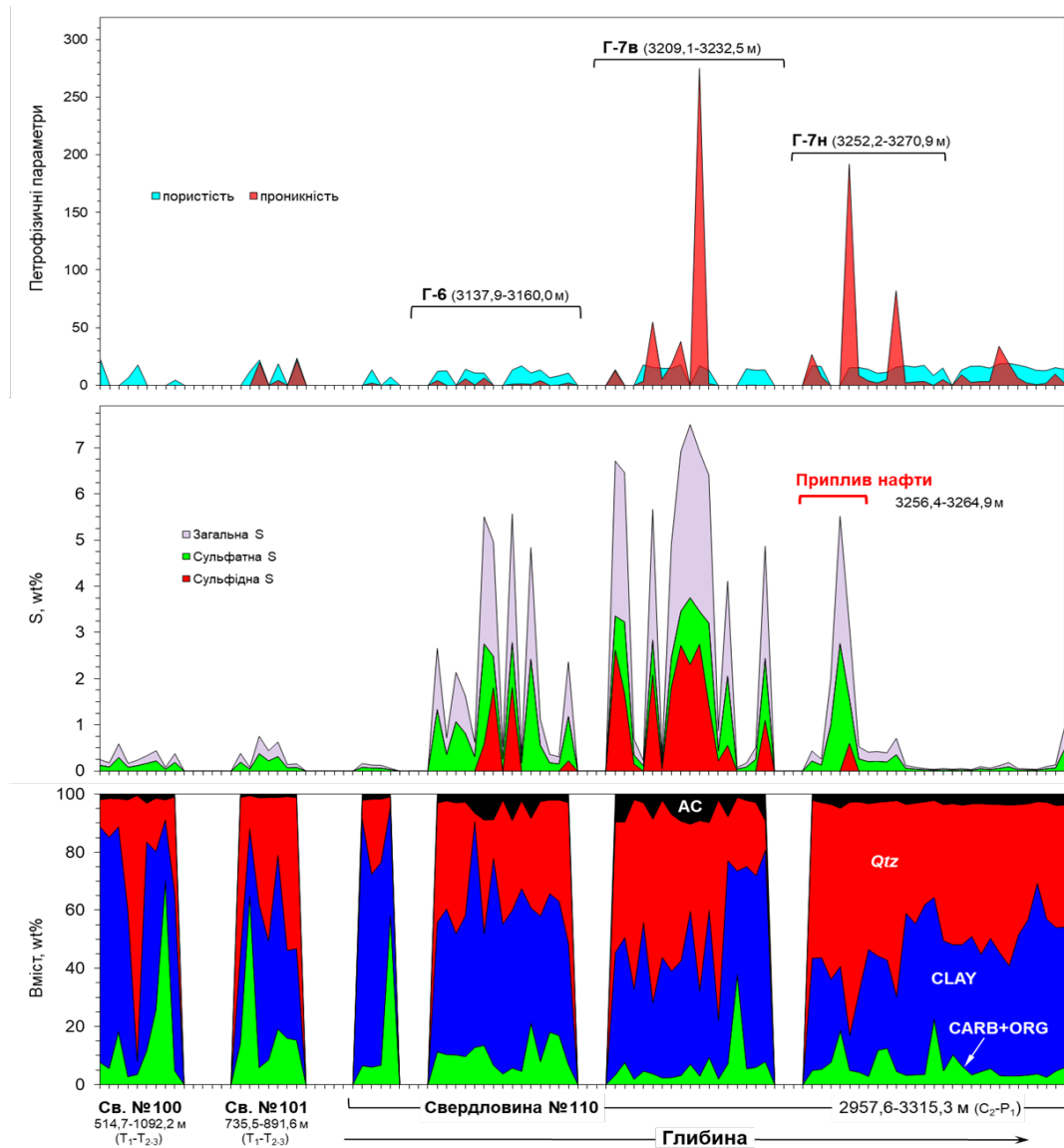


Рис. 2. Кількісна літологія порід (знизу), розрахована згідно з чотириккомпонентною моделлю (Shnyukov et al., 2021 тощо), а також приклад зафіксованих геохімічних аномалій сірки (посередині) та варіації визначених значень петрофізичних параметрів (зверху) для досліджених інтервалів розрізу св. № 100, № 101 та № 110

Шкала глибин – умовна. Г-6, Г-7в та Г-7н – горизонти (для останнього зафіксовано приплив нафти). Для св. 110 в інтервалі продуктивних горизонтів у складі порід присутній також уламковий плагіоклаз у концентраціях 10–15 wt% (спороадично – до 40 wt%)

Таблиця 1

Коефіцієнти кореляції між хімічним складом (вміст головних компонентів/елементів, wt%) і фільтраційно-ємнісними параметрами (пористість та проникність) досліджених порід зі свердловин Руновщинської площі

Змінна	Ф _п , %			Ф _п , %			κ, мД		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
SiO ₂	-0,16	0,60	0,96	0,28	0,60	1,00	0,29	0,33	0,48
TiO ₂	0,95	-0,18	0,80	0,73	-0,12	0,66	0,72	0,02	-0,27
Al ₂ O ₃	-0,74	-0,09	0,75	-0,96	-0,11	0,56	-0,96	-0,42	-0,43
Fe ₂ O ₃ ^{total}	-0,18	-0,31	0,24	-0,59	-0,37	-0,02	-0,60	-0,38	-0,87
MnO	0,21	-0,79	-0,99	-0,23	-0,78	-0,94	-0,25	-0,23	-0,19
MgO	-0,18	-0,64	-0,99	-0,59	-0,71	-0,97	-0,60	-0,40	-0,28
CaO	0,99	-0,80	-0,99	0,85	-0,78	-0,93	0,84	-0,13	-0,17
Na ₂ O	-0,89	0,002	0,90	-0,61	0,05	0,95	-0,60	0,14	0,45
K ₂ O	-0,98	0,005	0,91	-0,81	0,02	0,77	-0,80	-0,06	-0,15
P ₂ O ₅	-0,29	-0,30	-0,99	0,15	-0,23	-0,99	0,16	-0,06	-0,41
S	0,16	-0,12	0,63	-0,28	-0,01	0,70	-0,29	0,39	0,33
Cl	-0,43	0,26	0,86	0,00	0,16	0,97	0,01	-0,33	0,68
H ₂ O ⁺	-0,33	0,19	-0,27	-0,70	0,00	-0,51	-0,71	-0,33	-0,94
LOI	0,43	-0,80	-0,98	0,00	-0,82	-0,98	-0,01	-0,26	-0,37

Примітки: 1 = вапнисті пісковики, 2 = пісковики різнозернисті, 3 = аргіліти, алевроліти. Статистично значущі коефіцієнти кореляції виділені червоним жирним шрифтом.

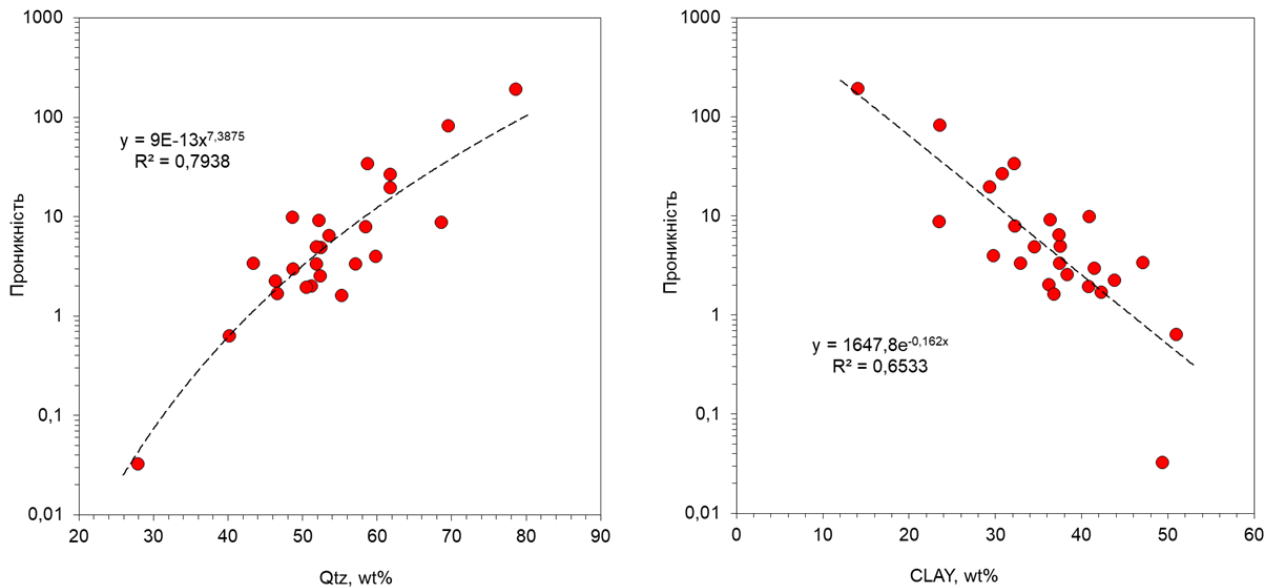


Рис. 3. Залежність абсолютної проникності (N) від розрахованого вмісту модельних компонентів Qtz та CLAY відповідно на прикладі свердловини №110 (інт. 3261,0–3315,3 м)

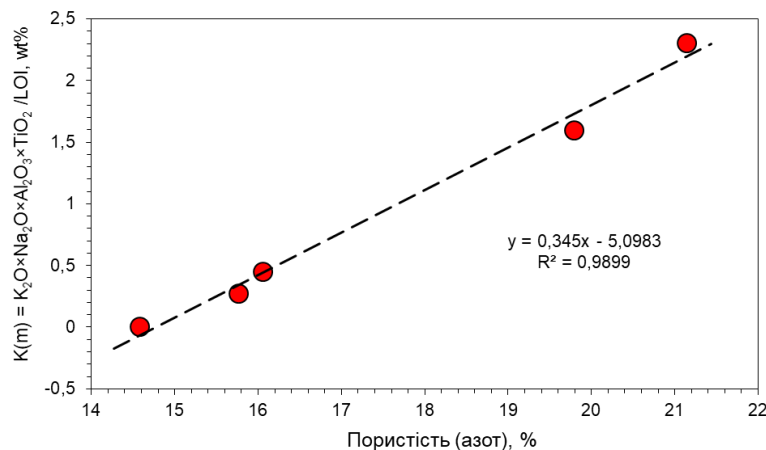


Рис. 4. Регресійна залежність між пористістю (виміряна в атмосфері N) та мультиплікативним відношенням $(K_2O + Na_2O + Al_2O_3 + TiO_2) / LOI$ на прикладі пісковиків Руновщинської площі

Крім того, для досягнення надійних регресій автори пропонують використовувати більш глибокі інтелектуальні методи аналізу, зокрема нейронні мережі. Їхня здатність маніпулювати різнорідними вхідними даними з успіхом використовуються для задач регресії, класифікації, кластеризації.

Можливість використання нейронних мереж для інтерпретації даних. Оцінка можливості здійснювати прогноз ФЄВ та встановлювати нафтогазопродуктивний потенціал товщ за допомогою геохімічних даних полягав у послідовній перевірці наборів вхідних даних нейронною мережею ANS.

Завдання регресії через нейронні мережі стосуються встановлення зв'язку ряду вхідних змінних із набором цільових змінних.

Як вхідні дані у нейронну мережу вносилися вмісти головних компонентів (від SiO_2 до LOI), мікроелементний склад (від Ni до Nd), розрахований вміст сірки у сульфатній і сульфідній формах, а також елементні і петрохімічні відношення, коефіцієнти та індекси (табл. 2). Групування вхідних даних здійснювалося за вмістом компонентів модельної мінеральної (п'ять категорій) та

літологічної належності (4 групи). Прогнозними показниками виступали пористість, виміряна по азоту (φ_N), пористість у насичених зразках (φ_I) та проникність (κ). Базова функція, яка регулює зв'язок між вхідними і вихідними даними, невідома априорі, і тому зв'язок "вхід–ціль" регулюється апроксиматором (обраною нейронною мережею). Її навчання полягає в отриманні вагових функцій, за якими поліпшується зв'язок вхідних та вихідних змінних.

Нейромережі мають функції активації, які перетворюють вхідні сигнали від нейронів попереднього рівня за допомогою певної математичної функції. Автори використали різні її види, залежно від типу вхідних даних. У випадку, коли вхідні сигнали взагалі не перетворюються, використовувалась функція ідентифікації *Identity* (10 нейромереж із 62 виконаних), що означає, що вони об'єднувалися у зважену суму та передалися нейронам у верхні шари нейронної мережі без перетворень. Для багатоварового перцептрону MLP використовувалась функція *tanh* (20/62), а також і інші функції, наприклад логістична сигмоподібна *Logistic* (20/62) та експоненційна *Exponential* (12/62).

Таблиця 2

Типи вхідних даних нейронної мережі ANS для задач регресії фільтраційно-ємнісних властивостей порід Руновщинської площі		
Головні компоненти	(1 – 14): SiO ₂ TiO ₂ Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃ MnO MgO CaO Na ₂ O K ₂ O P ₂ O ₅ S Cl H ₂ O LOI	Безперервні дані
Мікроелементний склад	(1 – 19): Cu Zn Ga As Br Rb Sr Y Zr Nb Pb Th U Ba La Ce Pr Nd	Безперервні дані
Розрахункові форми сірки	(1) сірка сульфатна, (2) сірка сульфідна	Безперервні дані
Елементні індекси	(1) MgO+Fe ₂ O ₃ , (2) Fe/Mn, (3) K ₂ O/Al ₂ O ₃ , (4) Na ₂ O/K ₂ O, (5) MI1=(Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃ +Na ₂ O+K ₂ O)/LOI, (6) MI2=1/(S+Na ₂ O+K ₂ O), (7) MI3=(TiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃ +K ₂ O)	Безперервні дані
Літологія (літ.)	(1) глини, (2) пісковики карбонатні, (3) пісковики, гравеліти, конгломерати, (4) аргіліти, алевроліти	Категоріальні дані
Модельна мінералогія	(1) Qtz, (2) CLAY, (3) CARB, (4) ORG, (5) AC	Безперервні дані

Алгоритм навчання використовував поширений ітеративний метод числової оптимізації Broyden–Fletcher–Goldfarb–Shanno (BFGS) із різним числом ітерацій, від 0 до 551.

Аналіз чутливості (Sensitivity analysis) в ANS зазвичай належить до оцінки важливості предикторів у відповідних (підігнаних) моделях.

Показники того, наскільки добре нейромережа навчена прогнозувати дані, представлено в табл. 3, в якій

наведено оцінки корельованості прогнозних величин і вхідних даних вибірки-учителя. Повністю навчена нейронна мережа може бути використана для прогнозування будь-яких незалежних даних зі змінними, які мають зіставний діапазон мінливості відносно даних, за яким виконувалося навчання. Листінг найбільш ефективних нейронних мереж (виділено напівжирним у табл. 3) наведено в електронному Додатку (Appendix B). Приєднаний файл можна повторно розгорнути за допомогою C/C++.

Таблиця 3

Ефективність прогнозування нейронними мережами фільтраційно-ємнісних властивостей на прикладі порід Руновщинської площі

Предиктор	Літологія									Модельна мінералогія								
	Регресант																	
	Ф _N			Ф _I			К			Ф _N			Ф _I			К		
Головні компоненти	0,891			0,893			0,967			0,845			0,94			0,989		
	літ.	Al ₂ O ₃	CaO	літ.	SiO ₂	Cl	літ.	S	Al ₂ O ₃	Cl	K ₂ O	TiO ₂	K ₂ O	Cl	TiO ₂	S	CLAY	Fe ₂ O ₃
Мікроелементи	0,004			0,494			0,961			0,590			0,995			0,999		
	літ.	As	Sr	літ.	Zr	U	літ.	Th	Nb	Zn	Y	CLAY	Zn	Y	CLAY	La	U	Zn
Розрахункові форми сірки	0,420			0,323			0,584			0,638			0,910			0,945		
MgO+Fe ₂ O ₃	0,619			0,345			0,534			0,454			0,620			0,845		
Fe/Mn	0,692			0,360			0,146			0,773			0,621			0,845		
K ₂ O/Al ₂ O ₃	0,458			0,309			0,479			0,450			0,939			0,958		
Na ₂ O/K ₂ O	0,398			0,243			0,122			0,446			0,733			0,991		
MI1	0,679			0,289			0,394			0,400			0,691			0,887		
MI2	0,528			0,294			0,442			0,603			0,725			0,800		
MI3	0,715			0,297			0,418			0,530			0,590			0,825		

Примітки: Червоним жирним шрифтом виділено оцінки ефективності нейромережевої регресії; для предикторних груп "Головні компоненти" та "Мікроелементи" (наведено ознаки, що мають найвищі значення в аналізі чутливості).

Ефективність використання нейромереж для розв'язання регресійних задач значною мірою залежить від якості вхідних даних. Використання таких категоризуючих змінних, як віднесення до "природного" літологічного типу, виявляється менш ефективним, ніж при залученні результатів кількісного мінералогічного моделювання (через параметри груп *quantitative mineralogy* та *quantitative lithology*) (табл. 3).

Вміст петрогенних оксидів може бути корисним для прогнозу ФЕС із групуванням даних як за літологічною належністю, так і за модельною мінералогією, водночас природа таких регресій різна, на що вказують різні ознакові ансамблі. Активна роль алюмосилікатів та карбонатів (Al₂O₃, SiO₂, CaO) та тип літології вказує на вплив мінерального скелету і вторинної мінералогії на формування пустотного простору в окремих літологічних групах порід. У той же час при групуванні за модельною мінералогією прогноз пористості і проникності нейромережами створює можливість випукліше показати вплив власне глинистості. Зміна пористості тут буде залежати передусім від вмісту K₂O (компонента, що пов'язаний із вмістом глинистих мінералів), TiO₂ та Fe₂O₃ (ознак, що виявляють зрілість осадів або ступінь вивітрювання порід) та хлору (компонент AC). Цікаво, що провідним регресантом у моделюванні

проникності в обох підвибірках виявляється сірка, можливо визначаючи наявність таких вторинних мінералів, як гіпс та ангідрит, які, як відомо, сильно знижують зв'язність і сполученість пор і тим самим проникність.

Найчастіше серед хімічних елементів-предикторів, які найтісніше пов'язані із ФЕС, трапляється цинк, ітрій, уран, торій, які різною мірою чутливі, особливо уран, до змін батиметричних і/та фаціальних обстановок седиментогенезу.

Коливання співвідношень форм сірки (сульфатної/сульфідної) та заліза (дво- і тривалентного) трактується як безпосередній індикатор редокс-умов седиментації. Наявність сульфатної сірки в нормальних (не в евапоритових) осадових породах може виступати індикатором окиснювальної фази – геохімічних фацій несприятливих для збереження органічної речовини. Натомість із зростанням аноксії, за наявності реакційного заліза, зростає піритизація заліза, тобто зростає вміст сульфідної сірки. Як наслідок – накопичення сульфідної сірки в осаді, маркує важливий геологічний процес – запобігання аеробному окисненню органічної речовини і зростання рівня її фосилізації. Наприклад, слідування за окисним потенціалом типу керогену достовірно показано у праці (Karpenko et al., 2025).

Підвищення суми оксидів ($MgO+Fe_2O_3$) призводить до збільшення ступеня бітумінозності ОР, отже може теж виступати маркером евксинних фацій седиментогенезу.

Елементний модуль Fe/Mn чутливий до змін фаціальних умов, що зменшується із збільшенням глибини седиментогенезу; наприклад із переходом від шельфових фацій до пелагічних, тим самим передаючи зміну як хімічних, так і динамічних фацій.

Поеднання лужного модуля (Na_2O/K_2O) і калієвого модуля (K_2O/Al_2O_3) несе генетичну інформацію про розподіл калію і алюмінію серед породотвірних мінералів.

Дискусія і висновки

Проведена робота продемонструвала доцільність комплексування петрофізичних і геохімічних досліджень зі створенням результатуючих об'єднаних банків даних. Використання попереднього варіанта такого банку, сформованого для вивчених інтервалів свердловин Руновщинської площі ДДЗ, дає змогу зробити такі висновки:

(1) Одержані дані щодо елементного складу зразків керна дозволили розрахувати літологію розрізу, яка ґрунтується на раніше запропонованій чотириконтентній літологічній моделі, добре узгоджується з традиційними петрографічними даними та, на відміну від них, має оптимально спрощений, але кількісний характер, що забезпечує безпосереднє зіставлення з результатами петрофізичних досліджень та ГДС.

(2) На прикладі S продемонстровано можливість виділення локальних геохімічних аномалій, які є індикаторами інтервалів з припливом нафти. З'ясування перспектив використання мікроелементного складу порід для розв'язання подібних задач вимагає застосування спеціальних методик для прецизійного врахування фонових умов, ідентифікації слабких геохімічних аномалій та оцінки їх інформативності.

(3) Встановлені стійкі кореляційні зв'язки між інструментально визначеною пористістю і абсолютною проникністю та вмістом модельних компонентів Qtz, CLAY і значеннями більш складних геохімічних коефіцієнтів, а також можливості, які надає використання нейронних мереж, створює передумови розробки надійних методик оцінки фільтраційно-ємнісних параметрів порід-колекторів за геохімічними даними.

(4) Встановлено, що нейромережі можуть ефективно прогнозувати ФЕВ за геохімічними даними за умови попереднього їх групування. Найпродуктивнішим є групування за модельною мінералогією (у п'яти категоріях). Поліпшує зручність прогнозу використання не лише багатознакових наборів вхідних даних (головні компоненти, мікроелементний склад), але і залучення різних елементних відношень, мультиплікативних індексів (наприклад, запропоновані MI1 – MI3) та розрахункових форм сірки.

Таким чином, одержані результати, які автори розглядають як попередні, підтверджують раціональність вибору та ефективність геохімічних засобів для розв'язання останньої частини сформульованої вище загальної проблеми, а саме для розробки ефективної технології впевненого поширення результатів прямого "точкового" петрофізичного та геохімічного дослідження зразків керна в інтервалах його відбору на весь розріз свердловини для повноцінної інтеграції з ГДС та досягнення максимально однозначної кількісної інтерпретації всіх даних. Наголосимо, що обов'язковою умовою її успішності є зіставність результатів інтерпретації геохімічних даних, отриманих для керна та шламу, що має додаткові перспективи реалізації у вигляді випереджального геохімічного каротажу, який потенційно забезпечує

ефективну поточну "підземну навігацію" (geosteering) принаймні при бурінні кущових свердловин.

Зауважимо, що розробка такої технології є важливим та актуальним подальшим завданням. Його повномасштабне виконання вимагає створення для ДДВ та інших актуальних нафтогазоносних регіонів (Волино-Поділля, Причорноморська западина тощо) компактної системи ідеалізованих опорних розрізів відповідного стратиграфічного діапазону, які скомпоновані за рахунок наявних свердловин та забезпечені, крім повноцінних результатів ГДС, репрезентативним керновим матеріалом, а за можливості – й пробами шламу. Комбіноване петрофізично-геохімічне вивчення цих розрізів слід проводити в максимально повних обсягах за уніфікованою методикою, попередньо відпрацьованою на "пілотних" прикладах, подібних до представленої в цій роботі, шляхом поглибленої інтерпретації вже наявних даних, за потреби доповнених до оптимального рівня.

Внесок авторів: Сергій Вижива – концептуалізація, методологія, написання (оригінальна чернетка, перегляд і редагування); Іван Гафич – валідація даних, формальний аналіз; Андрій Гожик – валідація даних, формальний аналіз; Олександр Шабатура – обчислення, формальний аналіз, написання (оригінальна чернетка, перегляд і редагування); Сергій Шнюков – методологія, валідація, формальний аналіз, написання (оригінальна чернетка, перегляд і редагування).

Подяки. Автори вдячні А.М. Омельченко, А.В. Виршило, О.В. Білан, І.І. Онищуку та В.С. Цуману за суттєву допомогу у виконанні лабораторних досліджень.

Джерела фінансування. Роботу виконано за підтримки Київського національного університету імені Тараса Шевченка та МОН України (держбюджетні теми 0223U001116 та 0124U001204).

Додаткові матеріали

Додаток А (табл. S1 та S2) та Додаток В до цієї статті можна знайти за адресою <https://geophys.knu.ua/research/fairdata/> Appendix A (Tables S1 & S2) and Appendix B to this article can be found online at <https://geophys.knu.ua/research/fairdata/>

Список використаних джерел

- Атлас геологического строения и нефтегазоносности Днепровско-Донецкой впадины. (1984). (Ю. А. Арсирый, Ред.). Мингео УССР.
- Безродна, І., & Вижива, С. (2019). Аналіз акустичних властивостей порід-колекторів Руновщинської площі на основі петрофізичних досліджень у різних баричних умовах. *Вісник Київського університету. Геологія*, 86(3), 21–26. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.86.03>
- Вижива, С., Онищук, В., Онищук, І., Рева, М., & Шабатура, О. (2019). Електричні параметри порід верхнього карбону Руновщинської площі Дніпровсько-Донецької западини. *Вісник Київського університету. Геологія*, 85(2), 37–45. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.85.05>
- Вижива, С., Онищук, І., Рева, М., & Шабатура, О. (2018). Фільтраційно-ємнісні особливості порід верхнього карбону (на прикладі Руновщинської площі ДДЗ). *Вісник Київського університету. Геологія*, 83(4), 30–37. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.83.04>
- Шнюков, С. Е., Андреев, А. В., Заяц, О. В., Савенок, С. П., & Клещенко, С. А. (2001). Инструментальный учет фоновых условий при геохимическом картировании литологически неоднородных территорий (на примере участка дна Черного моря). В *Геологические проблемы Черного моря*. ОМГОР ННПМ НАНУ.
- Шнюков, С. Е., Андреев, А. В., Заяц, О. В., Савенок, С. П., & Маргулев, В. М. (2002). Прецизионный учет фоновых условий как основа технологии раннего обнаружения, мониторинга и прогноза развития техногенных геохимических аномалий. *Екологія довкілля та безпека життєдіяльності*, 3, 6–10.
- Babu, S. S., Ramana, R. V., Rao, V. P. et al. (2020). Composition of the peninsular India rivers average clay (PIRAC): A reference sediment composition for the upper crust from peninsular India. *J Earth Syst Sci*, 129, 39. <https://doi.org/10.1007/s12040-019-1301-8>
- Bayon, G., Toucanne, S., Skonieczny, C., Andre, L., Bermell, S., Cheron, S., Dennielou, B., Etoubleau, J., Freslon, N., Gauchery, T., Germain, Y., Jorry, S. J., Menot, G., Monin, L., Ponzevera, E., Rouget, M. L., Tachikawa, K., & Barrat, J. A. (2015). Rare earth elements and neodymium isotopes in world

- river sediments revisited. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 170, 17–38. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2015.08.001>
- Berger, W. H., & Vincent, E. (1981). Chemostratigraphy and biostratigraphic correlation: exercises in systemic stratigraphy. *Oceanologica Acta*, 115–127. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00246/35689/>
- Blannin, R., Frenzel, M., Tuşa, L., Birtel, S., Ivăşcanu, P., Baker, T., & Gutzmer, J. (2021). Uncertainties in quantitative mineralogical studies using scanning electron microscope-based image analysis. *Minerals Engineering*, 67(15), 106836. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2021.106836>
- Brookfield, M. E., Stebbins, A. G., Williams, J. C., Wolbach, W. S., Hannigan, R., & Bhat, G. M. (2020). Paleoenvironments and elemental geochemistry across the marine Permo-Triassic boundary section, Guryul Ravine (Kashmir, India) and a comparison with other North Indian passive margin sections. *Depositional Record*, 6, 75–116. <https://doi.org/10.1002/dep2.96>
- Sial, A. N., Gaucher, C., Ramkumar, M., & Ferreira, V. P. (Ред.). (2019). *Chemostratigraphy Across Major Chronological Boundaries*. Geophysical Monograph 240. John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/9781119382508.ch10>
- Cosme, P., Bossennec, C., Geraud, Y., Malartre, F., Diraison, M., Vidal, J., & Haffen, S. (2025). Evolution of Reservoir Properties in Buntsandstein Sandstones: A Comparative Wells Analysis from the Upper Rhine Graben. *EGU General Assembly 2025, Vienna, Austria, 27 Apr–2 May 2025*, EGU25-20439. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu25-20439>
- Harvey, P. K., Brewer, T. S., Lovell, M. A., & Kerr, S. A. (1998). The estimation of modal mineralogy: a problem of accuracy in core-log calibration. In P. K. Harvey & M. A. Lovell (Ред.), *Core-Log Integration*, Geological Society, London, Special Publications (Vol. 136, pp. 25–38). <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1998.136.01.32>
- Herron, M. M. (1986). Mineralogy from Geochemical Well Logging. *Clays and Clay Minerals*, 34(2), 204–213. <https://doi.org/10.1346/CCMN.1986.0340211>
- Herron, M. M., & Herron, S. L. (1998). Quantitative lithology: open and cased hole application derived from integrated core chemistry and mineralogy database. In P. K. Harvey & M. A. Lovell (Ред.), *Core-Log Integration*, Geological Society, London, Special Publications (Vol. 136, pp. 81–95). <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1998.136.01.32>
- Hupp, B. N., & Donovan, J. J. (2018). Quantitative mineralogy for facies definition in the Marcellus Shale (Appalachian Basin, USA) using XRD-XRF integration. *Sedimentary Geology*, 371, 16–31. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2018.04.007>
- Jarvie, D. M., Hill, R. J., Ruble, T. E., & Pollastro, R. M. (2007). Unconventional shale-gas systems: The Mississippian Barnett Shale of north-central Texas as one model for thermogenic shale-gas assessment. *AAPG Bulletin*, 91(4), 475–499. <https://doi.org/10.1306/12190606068>
- Jiang, S. (2012). Clay Minerals from the Perspective of Oil and Gas Exploration. In *Clay Minerals in Nature – Their Characterization, Modification and Application*. InTech. <http://dx.doi.org/10.5772/47790>
- Karpenko, I., Ischenko, I., & Karpenko, O. (2025). Geochemical characteristics and thermal maturity of the upper devonian rocks (Dnieper-Donets Basin) according to Rock-Eval pyrolysis data (exploration drilling). *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 4(107), 23–30. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.107.03>
- Lazareva, I., Shnyukov, S., Vyshlyo, A., Omelchenko, A., & Osypenko, V. (2025). Routine monitoring of laboratory precision and accuracy as a tool for assessing analytical uncertainties in large geochemical databases on bulk-rock composition. In *XVIII International Scientific Conference "Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment" (14–17 April 2025, Kyiv, Ukraine)*. <https://eage.in.ua/wp-content/uploads/2025/04/Mon25-219.pdf>
- Lazareva, I., Shnyukov, S., Andriev, A., Aleksieienko, A., Zagorodnii, V., & Morozenko, V. (2018). Precision analysis of geochemical background level during industria geochemical anomalies monitoring. In *XII International Scientific Conference "Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment" (13–16 November 2018, Kyiv, Ukraine)*. <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-85060468516&partnerID=MN8TOARS>
- Lazareva, I., Shnyukov, S., Andriev, A., Aleksieienko, A., & Khlon, E. (2019a). Korosten Pluton (Ukrainian Shield): initial data bank oriented on geochemical modelling. In *XVIII International Conference "Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects" (Kyiv, Ukraine, 13–16 May 2019)*. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201902100>
- Lazareva, I., Shnyukov, S., Andriev, O., Aleksieienko, A., & Zagorodnii, V. (2019b). Korosten Pluton (Ukrainian Shield): New major and trace element analytical data and its validation. In *18th International Conference on Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects (13–16 May 2019)*. <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-85071387477&partnerID=MN8TOARS>
- Martin, K. G. (2019). *X-Ray Fluorescence Applications in Mudrock Characterization: Investigations into Middle Devonian Stratigraphy, Appalachian Basin, USA* [Graduate Theses, Dissertations, and Problem Reports]. West Virginia University. <https://doi.org/10.33915/etd.7462>
- Martin, K. G., & Carr, T. R. (2020). Developing a quantitative mudrock calibration for a handheld energy dispersive X-ray fluorescence spectrometer. *Sedimentary Geology*, 398, 105584. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2019.105584>
- Ramkumar, M., Nagarajan, R., & Santosh, M. (2021). Advances in sediment geochemistry and chemostratigraphy for reservoir characterization. *Energy Geoscience*, 2(4), 308–326. <https://doi.org/10.1016/j.engeos.2021.02.001>
- Rowe, H., Hughes, N., & Robinson, K. (2012). The quantification and application of handheld energy-dispersive x-ray fluorescence (ED-XRF) in mudrock chemostratigraphy and geochemistry. *Chemical Geology*, 324–325, 122–131. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2011.12.023>
- Shnyukov, S., Lazareva, I., Bunkevych, O., Virshylo, A., Omelchenko, A., & Osypenko, V. (2021). Generalized 4-component Lithological Model and Possible Fields of its Application. In *XV International Scientific Conference "Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment" (17–19 November 2021, Kyiv, Ukraine)*. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215K2084>
- Shnyukov, S., Tegkaev, E., Lazareva, I., Andriev, O., & Aleksieienko, A. (2019). Denudation as unique Earth Crust sampling procedure: additive effect of sedimentary differentiation and homogenization. In *XVIII International Conference "Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects" (13–16 May 2019, Kyiv, Ukraine)*. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201902102>
- Shnyukov, S. E., Andreev, O. V., Lazareva, I. I., Tegkaev, E. T., & Aleksieienko, A. G. (2019). Detrital zircon and monazite as a tool for retrospective monitoring of the earth's continental crust evolution: Current problems and tasks. In *XIII International Scientific Conference "Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment, (12–15 November 2019, Kyiv, Ukraine)*. <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-85089583551&partnerID=MN8TOARS>
- Viers, J., Dupre, B., & Gaillardet, J. (2009). Chemical composition of suspended sediments in World Rivers: New insights from a new database. *Science of the Total Environment*, 407, 853–868. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.09.053>
- Vyzhva, S., Shchypstov, O., Shnyukov, S., Lazareva, I., Gordeev, A., & Virshylo, A. (2021). Integrated Geochemical and Geophysical Monitoring of the Ecological State of Sedimentary Systems in Danube-Black Sea Region: Pilot Results and Development Prospects. In *XX International Conference "Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects" (11–14 May 2021, Kyiv, Ukraine)*. <https://www.earthdoc.org/content/papers/10.3997/2214-4609.20215521148>

References

- Atlas of the geological structure and oil and gas potential of the Dnieper-Donets Basin. (1984). (Yu. A. Arsyria, Ed.). Mingeo of the USSR [in Russian].
- Babu, S. S., Ramana, R. V., Rao, V. P. et al. (2020). Composition of the peninsular India rivers average clay (PIRAC): A reference sediment composition for the upper crust from peninsular India. *J. Earth Syst Sci*, 129, 39. <https://doi.org/10.1007/s12040-019-1301-8>
- Bayon, G., Toucanne, S., Skonieczny, C., Andre, L., Bermell, S., Cheron, S., Dennielou, B., Etoubleau, J., Freslon, N., Gauchery, T., Germain, Y., Jorry, S. J., Menot, G., Monin, L., Ponzevera, E., Rouget, M. L., Tachikawa, K., & Barrat, J. A. (2015). Rare earth elements and neodymium isotopes in world river sediments revisited. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 170, 17–38. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2015.08.001>
- Berger, W. H., & Vincent, E. (1981). Chemostratigraphy and biostratigraphic correlation: exercises in systemic stratigraphy. *Oceanologica Acta*, 115–127. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00246/35689/>
- Bezrodna, I., & Vyzhva, S. (2019). Analysis of the acoustic properties of reservoir rocks of the Runovshchyna area based on petrophysical studies in different baric conditions. *Bulletin of the Kyiv University. Geology*, 86(3), 21–26 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.86.03>
- Blannin, R., Frenzel, M., Tuşa, L., Birtel, S., Ivăşcanu, P., Baker, T., & Gutzmer, J. (2021). Uncertainties in quantitative mineralogical studies using scanning electron microscope-based image analysis. *Minerals Engineering*, 67(15), 106836. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2021.106836>
- Brookfield, M. E., Stebbins, A. G., Williams, J. C., Wolbach, W. S., Hannigan, R., & Bhat, G. M. (2020). Paleoenvironments and elemental geochemistry across the marine Permo-Triassic boundary section, Guryul Ravine (Kashmir, India) and a comparison with other North Indian passive margin sections. *Depositional Record*, 6, 75–116. <https://doi.org/10.1002/dep2.96>
- Sial, A. N., Gaucher, C., Ramkumar, M., & Ferreira, V. P. (Eds.). (2019). *Chemostratigraphy Across Major Chronological Boundaries*. Geophysical Monograph 240. John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/9781119382508.ch10>
- Cosme, P., Bossennec, C., Geraud, Y., Malartre, F., Diraison, M., Vidal, J., & Haffen, S. (2025). Evolution of Reservoir Properties in Buntsandstein Sandstones: A Comparative Wells Analysis from the Upper Rhine Graben. *EGU General Assembly 2025, Vienna, Austria, 27 Apr–2 May 2025*, EGU25-20439. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu25-20439>
- Harvey, P. K., Brewer, T. S., Lovell, M. A., & Kerr, S. A. (1998). The estimation of modal mineralogy: a problem of accuracy in core-log calibration. In P. K. Harvey & M. A. Lovell (Eds.), *Core-Log Integration*, Geological Society, London, Special Publications (Vol. 136, pp. 25–38). <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1998.136.01.32>
- Herron, M. M. (1986). Mineralogy from Geochemical Well Logging. *Clays and Clay Minerals*, 34(2), 204–213. <https://doi.org/10.1346/CCMN.1986.0340211>
- Herron, M. M., & Herron, S. L. (1998). Quantitative lithology: open and cased hole application derived from integrated core chemistry and mineralogy database. In P. K. Harvey & M. A. Lovell (Eds.), *Core-Log Integration*,

Geological Society, London, Special Publications (Vol. 136, pp. 81–95). <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1998.136.01.32>

Hupp, B. N., & Donovan, J. J. (2018). Quantitative mineralogy for facies definition in the Marcellus Shale (Appalachian Basin, USA) using XRD-XRF integration. *Sedimentary Geology*, 371, 16–31. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2018.04.007>

Jarvie, D. M., Hill, R. J., Ruble, T. E., & Pollastro, R. M. (2007). Unconventional shale-gas systems: The Mississippian Barnett Shale of north-central Texas as one model for thermogenic shale-gas assessment. *AAPG Bulletin*, 91(4), 475–499. <https://doi.org/10.1306/121906060608>

Jiang, S. (2012). Clay Minerals from the Perspective of Oil and Gas Exploration. In *Clay Minerals in Nature – Their Characterization, Modification and Application*. InTech. <http://dx.doi.org/10.5772/47790>

Karpenko, I., Ischenko, I., & Karpenko, O. (2025). Geochemical characteristics and thermal maturity of the upper devonian rocks (Dnieper-Donets Basin) according to Rock-Eval pyrolysis data (exploration drilling). *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 4(107), 23–30. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.107.03>

Lazareva, I., Shnyukov, S., Vyrshylo, A., Omelchenko, A., & Osypenko, V. (2025). Routine monitoring of laboratory precision and accuracy as a tool for assessing analytical uncertainties in large geochemical databases on bulk-rock composition. In *XVIII International Scientific Conference "Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment" (14–17 April 2025, Kyiv, Ukraine)*. <https://eage.in.ua/wp-content/uploads/2025/04/Mon25-219.pdf>

Lazareva, I., Shnyukov, S., Andriev, A., Aleksieienko, A., Zagorodnii, V., & Morozenko, V. (2018). Precision analysis of geochemical background level during industria geochemical anomalies monitoring. *XII International Scientific Conference "Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment" (13–16 November 2018, Kyiv, Ukraine)*. <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-85060468516&partnerID=MN8TOARS>

Lazareva, I., Shnyukov, S., Andriev, A., Aleksieienko, A., & Khlon, E. (2019). Korosten Pluton (Ukrainian Shield): initial data bank oriented on geochemical modelling. In *XVIII International Conference "Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects" (Kyiv, Ukraine, 13–16 May 2019)*. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201902100>

Lazareva, I., Shnyukov, S., Andriev, O., Aleksieienko, A., & Zagorodnii, V. (2019). Korosten Pluton (Ukrainian Shield): New major and trace element analytical data and its validation. In *18th International Conference on Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects (13–16 May 2019)*. <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-85071387477&partnerID=MN8TOARS>

Martin, K. G. (2019). *X-Ray Fluorescence Applications in Mudrock Characterization: Investigations into Middle Devonian Stratigraphy, Appalachian Basin, USA* [Master's thesis]. West Virginia University. <https://doi.org/10.33915/etd.7462>

Martin, K. G., & Carr, T. R. (2020). Developing a quantitative mudrock calibration for a handheld energy dispersive X-ray fluorescence spectrometer. *Sedimentary Geology*, 398, 105584. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2019.105584>

Ramkumar, M., Nagarajan, R., & Santosh, M. (2021). Advances in sediment geochemistry and chemostratigraphy for reservoir characterization. *Energy Geoscience*, 2(4), 308–326. <https://doi.org/10.1016/j.engeos.2021.02.001>

Rowe, H., Hughes, N., & Robinson, K. (2012). The quantification and application of handheld energy-dispersive x-ray fluorescence (ED-XRF) in mudrock chemostratigraphy and geochemistry. *Chemical Geology*, 324–325, 122–131. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2011.12.023>

Shnyukov, S., Lazareva, I., Bunkevych, O., Virshylo, A., Omelchenko, A., & Osypenko, V. (2021). Generalized 4-component Lithological Model and Possible Fields of its Application. In *XV International Scientific Conference "Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment" (17–19 November 2021, Kyiv, Ukraine)*. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215K2084>

Shnyukov, S., Tegkaev, E., Lazareva, I., Andriev, O., & Aleksieienko, A. (2019). Denudation as unique Earth Crust sampling procedure: additive effect of sedimentary differentiation and homogenization. In *XVIII International Conference "Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects" (13–16 May 2019, Kyiv, Ukraine)*. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201902102>

Shnyukov, S. E., Andreev, A. V., Zayats, O. V., Savenok, S. P., & Kleshchenko, S. A. (2001). Instrumental accounting of background conditions in geochemical mapping of lithologically heterogeneous territories (on the example of a section of the Black Sea bottom). In *Geological problems of the Black Sea*. OMGOR NNPM NASU, 165–184 [in Russian].

Shnyukov, S. E., Andreev, A. V., Zayats, O. V., Savenok, S. P., & Margulev, V. M. (2002). Precision accounting of background conditions as the basis for the technology of early detection, monitoring and forecasting of the development of technogenic geochemical anomalies. *Ekologiya dovkillya ta bezpeka zhittadiyalnosti*, 3, 6–10 [in Russian].

Shnyukov, S. E., Andreev, O. V., Lazareva, I. I., Tegkaev, E. T., & Aleksieienko, A. G. (2019). Detrital zircon and monazite as a tool for retrospective monitoring of the earth's continental crust evolution: Current problems and tasks. In *XIII International Scientific Conference "Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment, (12–15 November 2019, Kyiv, Ukraine)*. <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-85089583551&partnerID=MN8TOARS>

Viers, J., Dupre, B., & Gaillardet, J. (2009). Chemical composition of suspended sediments in World Rivers: New insights from a new database. *Science of the Total Environment*, 407, 853–868. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.09.053>

Vyzhva, S., Shchypytsov, O., Shnyukov, S., Lazareva, I., Gordeev, A., & Virshylo, A. (2021). Integrated Geochemical and Geophysical Monitoring of the Ecological State of Sedimentary Systems in Danube-Black Sea Region: Pilot Results and Development Prospects. In *XX International Conference "Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects" (11–14 May 2021, Kyiv, Ukraine)*. <https://www.earthdoc.org/content/papers/10.3997/2214-4609.20215521148>

Отримано редакцією журналу / Received: 22.04.25

Прорецензовано / Revised: 26.05.25

Схвалено до друку / Accepted: 30.06.25

Serhii VYZHVA¹, DSc (Geol.), Prof., Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Ukraine
ORCID ID: 0000-0003-4091-6649

e-mail: s.vyzhva@knu.ua

Ivan HAFYCH², PhD (Geol. & Mineral.),
Deputy of Head of Geology and Research DTEK Naftogaz
e-mail: gafichip@dtek.com

Andrii GOZHYK¹, PhD (Geol. & Mineral.), Assoc. Prof.
ORCID ID: 0000-0001-6198-5681
e-mail: andrii.gozhyk@knu.ua

Oleksandr SHABATURA¹, DSc (Geol.), Assoc. Prof.
ORCID ID: 0000-0003-0810-3701
e-mail: oshabatura@knu.ua

Sergiy SHNYUKOV¹, DSc (Geol.), Assoc. Prof.
ORCID ID: 0000-0003-1338-5272
e-mail: shnyukov54@knu.ua

¹Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

²DTEK Naftogaz

GEOCHEMICAL AND PETROPHYSICAL ASSESSMENT OF LITHOLOGICAL VARIABILITY AND RESERVOIR PROPERTIES OF WELLS CORE: RUNOVSHCHYNA OIL AND GAS FIELD OF THE DNIPRO-DONETSK BASIN AS AN EXAMPLE (PRELIMINARY RESULTS)

Background. A comprehensive petrophysical and geochemical study of a representative series of core samples (n=79) was performed for real well sections of the Runovshchyna oil and gas area of the Dnieper-Donets Basin containing productive horizons. The aim of the work was to test the possibility of full integration of geochemical methods with geophysical well logging data to improve the efficiency of data interpretation.

Methods. A set of petrophysical parameters (including porosity and permeability of rocks), as well as the content of major and trace elements (WDXRF, EDXRF) were determined for all core samples after their uniform preparation and preliminary petrographic study. Obtained analytical results were used to create a combined petrophysical and geochemical data bank.

Results. The created database allowed to calculate the contents of quartz (Qtz), clays (CLAY), carbonates (CARB) and organic matter (ORG) in rocks based on the content of the main elements and on the previously proposed 4-component lithological model. It also allowed to characterize

the quantitative lithology of the section within the studied intervals and to show the possibility of identifying local geochemical sulfur anomalies that are indicators of oil-bearing intervals. It was proposed to establish a stable correlation between instrumentally determined porosity and permeability and the content of model components Qtz, CLAY and the coefficient $(K_2O + Na_2O + Al_2O_3 + TiO_2)/LOI$ and to confirm the possibility of using neural networks to interpret the data.

C o n c l u s i o n s . *There is effectiveness of geochemical methods (elemental geochemistry) in the variants of studying the core and cuttings of wells ("geochemical log") for confident (without information losses and distortions) distribution of the results of direct "point" study of filtration and capacitance parameters of core samples in the intervals of its selection to the entire well section for full integration with the data of the well logging, achievement of the most unambiguous quantitative interpretation of all data and the needs of geosteering during drilling. The expediency of using neural networks to improve the accuracy of determining filtration and capacitance properties using petrophysical and geochemical data is confirmed.*

Key words: *petrophysical parameters, elemental composition, quantitative lithology, geochemical well logging, hydrocarbons, Dnieper-Donetsk Basin.*

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів. Спонсори не брали участі в розробленні дослідження; у зборі, аналізі чи інтерпретації даних; у написанні рукопису; в рішенні про публікацію результатів.

The authors declare no conflicts of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses or interpretation of data; in the writing of the manuscript; or in the decision to publish the results.