

ГЕОЛОГІЯ НАФТИ ТА ГАЗУ

УДК 550.42:553.98

DOI: 10.18524/2303–9914.2023.1(42).282244

В. В. Ішков^{1,2}, канд. геол.-мін. наук, доцент

Є. С. Козій¹, канд. геол. наук, директор

М. А. Козар³, канд. геол. наук, старший науковий співробітник

¹Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

пр-т Дмитра Яворницького 19, м. Дніпро, 49005, Україна

²Інститут геотехнічної механіки ім. М. С. Полякова НАН України

Україна, вул. Сімферопольська 2-а, м. Дніпро, 49005, Україна

³Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М. П. Семененка

НАН України

пр-т Акад. Палладіна, м. Київ, 03142, Україна

ishwishw37@gmail.com

ОСОБЛИВОСТІ ГЕОХІМІЇ АЛЮМІНІЮ У НАФТАХ ТА КЛАСИФІКАЦІЯ РОДОВИЩ ДНІПРОВСЬКО-ДОНЕЦЬКОЇ ЗАПАДИНИ ЗА ЙОГО ВМІСТОМ

Розроблено природну класифікацію родовищ Дніпровсько-Донецької западини за вмістом алюмінію у нафтах та встановлено його зв'язок з концентрацією окремих елементів-домішок, основних складових нафти та основних геолого-технологічних показників родовищ Дніпровсько-Донецької западини. Виконано інтерпретацію у генетичних поняттях результатів кореляційного та кластерного аналізів, яка дозволила встановити перелік родовищ сформованих нафтою абіогенного походження.

Ключові слова: алюміній, нафта, елементи-домішки, вміст металів, кореляційний зв'язок, рівняння регресії, кластерний аналіз.

ВСТУП

Пильна увага до проблем геохімії металів у нафтах в цілому пов'язана з можливістю їхнього промислового вилучення в процесі переробки та подальшої реалізації, в якості супутньої сировини, актуальними науково-технічними питаннями генезису вуглеводнів, а також необхідністю визначення екологічних і технологічних ризиків використання рідких вуглеводнів як сировини для виробництва нафтопродуктів. Високі концентрації металів є також серйозною проблемою під час переробки нафтової сировини, адже це призводить до незворотної дезактивації каталізаторів (у результаті відкладення металів на активній поверхні, блокування порового простору і руйнування безпосередньо

структури каталізатора). Окрім цього, сполуки металів, що утворюються у ході переробки нафти спричиняють поширення високотемпературної корозії на поверхні обладнання, зниження терміну дії турбореактивних, дизельних і котельних установок; газової корозії активних елементів газотурбінних двигунів і зростання екологічно шкідливих викидів у навколишнє середовище. Серед металів-домішок у нафтах, особливо пріоритетні за промисловим та екологічним значенням є V, Hg, Al, Co, Ni, Fe, Mn, Cr та Zn.

Загальна необхідність класифікувати нафти та їхні родовища обумовлена причинами, як наукового, так і практичного характеру, тому класифікації мають бути за можливості раціональними, тобто відображати обидва зазначені аспекти. Труднощі у створенні подібних класифікацій пов'язані зі складністю та різноманітністю складу нафти (навіть у різних свердловинах в межах єдиного у геологічному сенсі утворення (нафтогазоносної пастки) та їх деякою варіативністю щодо вмісту металів у процесі видобутку), недостатністю знань про нафтогенез, необхідністю вибору з безлічі різних показників оптимальної кількості класифікаційних параметрів, які були б максимально інформативними, тобто містили інформацію про джерела нафтової речовини, характер перетворень у процесі нафтогенезу та геохімічний тип нафти, що утворюється. Враховуючи металоносність нафти, її поділяють на збагачену металами (> 10 ppm) та збіднену (< 1 ppm), а також з переважанням того чи іншого елемента. За вмістом V, Ni та Fe виділяють «ванадієвий» ($V > Ni > Fe$), «залістий» ($Fe > V > Ni$), «нікелевий» ($Ni > Fe > V$) типи (Нукенов & Пуанова, 2001).

Одну із перших систематизацій нафти, за загальними характеристиками вмісту металів, надав A.J.G. Varwise 1990 року. Він розглянув хімічний склад, фізичні властивості та вміст металів у зразках нафти (Varwise, 1990). А. А. Суханов у 2008 році розглянув сучасний стан оцінки запасів супутніх компонентів нафти, як джерел високоякісної рідкіснометалевої сировини (Суханов & Петрова, 2008). Вже у 2014 році O.V. Akpoveta і S.A. Osakwe здійснили аналіз вмісту важких металів у нафтопродуктах з родовищ Нігерії (Akpoveta & Osakwe, 2014). Авторами зазначено, що високий рівень вмісту металів у нафтах може становити серйозну екологічну загрозу. В Україні такі дослідження проводилися у 2013 році стосовно високосірчаної нафти Прикарпатського прогину (Хлібишин, Шакір, Гринишин & Почапська, 2013). У цій роботі було не лише досліджено фракційний склад та фізико-хімічні властивості світлих фракцій, виділених із нафти Орховицького нафтового родовища, а й вивчено потенційний вміст фракцій, для яких визначено густину, показник заломлення, молекулярну масу та вміст сірки. Трохи пізніше J.O. Wilberforce провів дослідження вмісту важких металів у сирій нафті, що використовується у медицині (Wilberforce, 2016). У цій роботі рівень вмісту Cd, Ni, V і Pb був досліджений за допомогою атомно-абсорбційної спектрофотометрії. За результатами дослідження було встановлено середню концентрацію металів із зазначенням впливу їх на організм людини. Раніше в серії робіт (Ишков & Козий, 2013; Ishkov,

Kozii & Lozovoi, 2013; Ішков & Козій, 2014; Ішков & Козій, 2017а; Ішков & Козій, 2017б; Козій, 2017; Козій & Ішков, 2017; Козій, 2018; Ішков & Козій, 2020; Kozar, Ishkov, Kozii & Pashchenko, 2020; Ішков & Козій, 2021; Kozii, 2021а; Kozii, 2021б) автори вже розглядали деякі особливості геохімії та розподілу металів у каустобіолітах з родовищ Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ).

Цю роботу присвячено результатам останніх досліджень стосовно особливостей геохімії алюмінію у нафтах з метою створення об'єктивної (природної) класифікації основних діючих 36 родовищ нафти найбільшого нафтогазоносного регіону України – Дніпровсько-Донецької западини за допомогою кластерного аналізу (Єрофєєв, Ішков & Козій, 2021; Єрофєєв, Ішков, Козій & Барташевський, 2021а; Єрофєєв, Ішков, Козій & Барташевський, 2021б). Варто зазначити, що подібні дослідження раніше не виконувалися, що визначає наукову новизну отриманих результатів. Вирішення такого завдання сприятиме напрацюванню комплексу прогностичних критеріїв скупчень вуглеводнів та науковому обґрунтуванню геолого-економічної, технологічної та екологічної оцінки їх використання, що в свою чергу, визначає актуальність та практичну цінність проведених досліджень. Враховуючи, що загалом концентрація елементів-домішок у складі нафт є геохімічним індикатором їх загального онтогенезу, дослідження геохімії алюмінію у нафтах родовищ ДДЗ має додаткову актуальність.

У роботі застосовані статистичні, інформаційні, геохімічні та аналітичні методи дослідження, що ґрунтуються на широкому охопленні великого фактичного матеріалу по вмісту металів-домішок, зокрема алюмінію, а також основних гірничо-промислових і технологічних параметрів та показників нафт та їх родовищ.

Мета цієї публікації – на основі геохімічних досліджень нафт встановити особливості зв'язку концентрацій алюмінію із вмістом інших металів-домішок, значень основних гірничо-промислових і технологічних параметрів та показників нафт й їх родовищ, і розробити природну класифікацію родовищ нафт (на прикладі ДДЗ) за вмістом алюмінію.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Фактологічною основою роботи були результати аналізів вмісту металів (Al, Ni, V, Zn, Cr, Mn, Co, Fe, Hg) у нафтах з 36 родовищ: Бахмачського, Прилуцького, Краснозаярського, Качалівського, Кременівського, Карайкозівського, Коробчинського, Куличихінського, Липоводолинського, Монастирщенського, Матлахівського, Малосорочинського, Ново-Миколаївського, Перекопівського, Прокопенківського, Радченківського, Розпашнівського, Софіївського, Суходолівського, Солонцівського, Солохівського, Талалаївського, Тростянецького, Турутинського, Харківцівського, Щуринського, Юр'ївського, Ярошівського, Хухрянського, Сагайдацького № 1, Сагайдацького № 13, Кибицівського № 5,

Кибицівського № 51, Кибицівського № 52, Кибицівського № 56, Кибицівського № 1 та їх основних геолого-технологічних показників. Ці родовища обрані за принципами наявності максимальної повноти геохімічної інформації, їх знаходження у різних нафтогазоносних районах ДДЗ, різного складу нафтової системи, різних геологічних типів пасток, різної структури родовищ та різного віку порід нафтових колекторів. Таким чином, дані родовища, на наш погляд, є достатньо представницькими для цього регіону.

Дослідження не менше, ніж 30 зразків нафти з кожного родовища на вміст металів (Al, Ni, V, Zn, Cr, Mn, Co, Fe, Hg) проводилися за допомогою рентгенофлуоресцентного аналізу на енерго-дисперсійному спектрометрі «Спрут» СЕФ 01. Час накопичення спектра 600 с. Підготовка і проведення аналізу проводилися за стандартом АСТМ Д 4927 – «Визначення елементного складу компонентів мастильних матеріалів методами рентгенофлуоресцентної спектроскопії з дисперсією за довжиною хвилі». Стандартними зразками металічних домішок слугували такі зразки: РМ 23 (ДСЗУ 022.122–00) МСО 0243:2001 з атестованими значеннями Cd, Mn, Pb, Zn; РМ 24 (ДСЗУ 022.123–00) МСО 0244:2001 з атестованими значеннями Fe, Co, Cu, Ni; РМ 26 (ДСЗУ 022.125–00) МСО 0246:2001 з атестованими значеннями V, Mo, Ti, Cr.

Таким чином, з кожного з 36 родовищ аналізувалися не менше як 30 проб нафти відібраних зі свердловин протягом п'яти років їх експлуатації. Потім значення вмісту алюмінію та всіх інших геолого-технологічних показників нормувалися за формулою:

$$X_{i \text{ норм.}} = (X_i - X_{i \text{ min}}) / (X_{i \text{ max}} - X_{i \text{ min}}),$$

де $X_{i \text{ норм.}}$ – нормоване одиничне значення показника проби нафти з конкретного родовища, X_i – одиничне значення показника проби нафти з конкретного родовища, $X_{i \text{ min}}$ – мінімальне значення показника проби нафти з конкретного родовища, $X_{i \text{ max}}$ – максимальне значення показника проби нафти з конкретного родовища.

Таким чином розраховані нормовані значення показників проб нафти з кожного родовища оброблялися за допомогою програми STATISTICA 11.6 у якій виконувався розрахунок описових статистик, кореляційний, регресійний, кластерний аналізи та графічна візуалізація результатів виконаних досліджень.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Середній загальний вміст алюмінію у нафті розглянутих родовищ становить $13,794 \pm 3,556$ ppm при довірчому інтервалі 0,95, вибіркова дисперсія 455,18, стандартне відхилення 21,34, медіанне значення відповідає 4,24 ppm, ексцес дорівнює 3,21, асиметричність 2,047.

Відповідно до результатів тестів Колмогорова-Смірнова, Ліллієфорса, згоди хі-квадрат Пірсона та Шапіро-Уїлка розподіл значень середнього вмісту алюмінію у вибірці нафт всіх розглянутих родовищ не відповідає логнормальному

чи нормальному закону розподілу. Гістограму розподілу нормованого загального вмісту металів наведено на рис. 1.

На цьому рисунку ми бачимо яскраво виражений полімодальний характер щільності розподілу середніх значень вмісту алюмінію у нафтах розглянутих родовищ. Мінімальний середній вміст алюмінію дорівнює 0,76 ppm для нафти Радченківського родовища, а максимальне середнє значення цього показника в 80 ppm характеризує нафту з родовища Кибицівське № 51. Слід зазначити, що з невідповідності щільності розподілу вибіркової сукупності нормальному закону, оцінку її центральної характеристики коректніше виконувати використовуючи не середнє арифметичне значення, а медіанне.

За результатами кореляційного та регресійного аналізу та з урахуванням шкали Чедока в пробах нафти з розглянутих родовищ встановлено наявність дуже слабкого зворотного кореляційного зв'язку вмісту Al та Ni (коефіцієнт кореляції $-0,04$), Fe (коефіцієнт кореляції $-0,12$), асфальтенів (коефіцієнт кореляції $-0,12$) та середньої потужності продуктивного горизонту (коефіцієнт кореляції $-0,13$); дуже слабкого прямого зв'язку концентрацій Al і парафінів (коефіцієнт кореляції $0,11$), значень в'язкості нафти (коефіцієнт кореляції $0,14$), смоли (коефіцієнт кореляції $0,22$), температурою початку кипіння (initial boiling point) (коефіцієнт кореляції $0,24$); слабкого зворотного кореляційного зв'язку між вмістом алюмінію і сучасною температурою продуктивних горизонтів (коефіцієнт кореляції $-0,43$); слабкого прямого кореляційного зв'язку між концентрацією Al і співвідношенням V / Ni (коефіцієнт кореляції $0,36$),

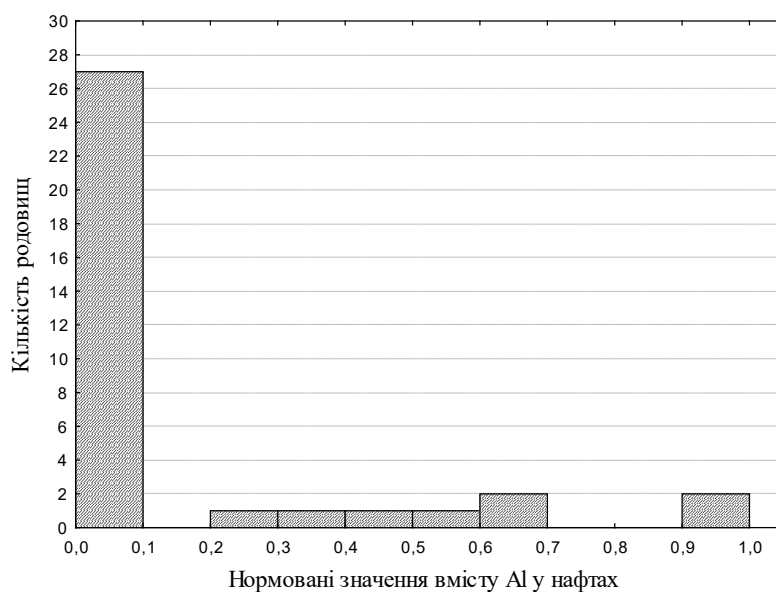


Рис. 1 Гістограма розподілу нормованого вмісту алюмінію у нафтах родовищ ДДЗ

загальним вмістом металів (коефіцієнт кореляції 0,43), значеннями густини нафти (коефіцієнт кореляції 0,48); середнього зворотного кореляційного зв'язку між вмістом алюмінію і значень сучасного тиску в продуктивних горизонтах (коефіцієнт кореляції – 0,59), сучасної глибини продуктивних горизонтів (коефіцієнт кореляції – 0,62), мінералізацією пластової води з продуктивних горизонтів (коефіцієнт кореляції – 0,68); середнього прямого кореляційного зв'язку між концентраціями Al і Zn (коефіцієнт кореляції 0,59), Mn (коефіцієнт кореляції 0,63); високого зворотного кореляційного зв'язку вмісту алюмінію та густиною пластової води з продуктивних горизонтів (коефіцієнт кореляції – 0,88, графік рівняння регресії наведено на рис. 2); високого прямого кореляційного зв'язку концентрацій Al і S (коефіцієнт кореляції 0,7, графік рівняння регресії наведено на рис. 3), Hg (коефіцієнт кореляції 0,82, графік рівняння регресії наведено на рис. 4), Cr (коефіцієнт кореляції 0,82, графік рівняння регресії наведено на рис. 5) та V (коефіцієнт кореляції 0,86, графік рівняння регресії наведено на рис. 6); дуже високого прямого кореляційного зв'язку вмісту Al та Co (коефіцієнт кореляції 0,91, графік рівняння регресії наведено на рис. 7).

Розраховані лінійні рівняння регресії відповідно вказані нижче (таблиця 1).

В результаті попередніх досліджень (Єрофєєв, Ішков, Козій & Барташевський, 2021а) було обґрунтовано метод зваженого центроїдного кластерного аналізу, як найбільш оптимальний для розробки класифікації родовищ нафти ДДЗ за концентрацією елементів-домішок максимально вільною від суб'єктивного підходу дослідників. У процесі його реалізації була побудована дендрограма (рис. 8), яка відбиває взаємну природну ієрархію розглянутих родовищ за вмістом алюмінію.

Під час кластеризації родовищ ДДЗ за вмістом алюмінію у нафтах (рис. 8) відмічено сім кластерів. Аномально низький вміст алюмінію у нафтах пов'язаний з кластером 1.1.1.1, який представлений родовищами: Радченківським, Монастирщенським, Кременівським, Бахмачським, Шуринським та Суходолівським. Середнє значення вмісту алюмінію по кластеру дорівнює 1,38 ppm, з коливанням середніх значень по родовищах від 0,76 ppm (Радченківське родовище) до 1,92 ppm (Суходолівське родовище). Кластер 1.1.1.2.1.1 сформований родовищами: Хухрянським, Малосорочинським, Тростянецьким, Карайкозівським, Ново-Миколаївським, Розпашнівським з низькими середніми значеннями вмісту алюмінію по родовищах від 2,43 (Хухрянське родовище) до 3,52 ppm (Розпашнівське родовище), за середнього значення по кластеру 2,99 ppm. Кластер 1.1.1.2.1.2 – об'єднує родовища Коробочкинське, Липоводолинське, Солонцівське, Ярошівське, Солохівське, Прокопенківське, Західно-Харьковцівське, Перекопівське, Талалаївське, Матлаховське та Краснозаярське з концентраціями алюмінію у нафтах нижче середнього від 3,89 ppm (Коробочкинське родовище) до 4,7 ppm (Краснозаярське родовище), за середнього значення по кластеру 4,22 ppm, що практично відповідає медіанному значенню. Середній вміст 5,38–5,77 ppm мають нафти родовищ Качалівського, При-

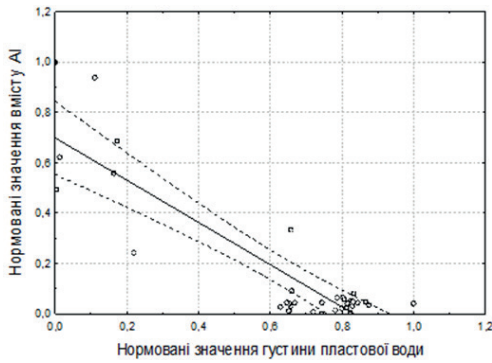


Рис. 2. Графік рівняння регресії між нормованими значеннями вмісту алюмінію і густини пластової води

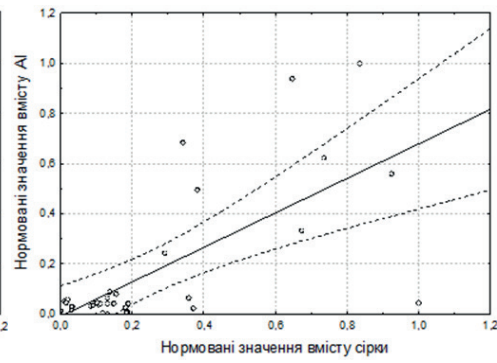


Рис. 3. Графік рівняння регресії між нормованими значеннями вмісту алюмінію і сірки

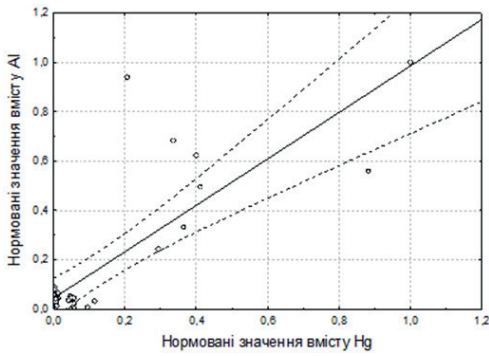


Рис. 4. Графік рівняння регресії між нормованими значеннями вмісту алюмінію і ртуті

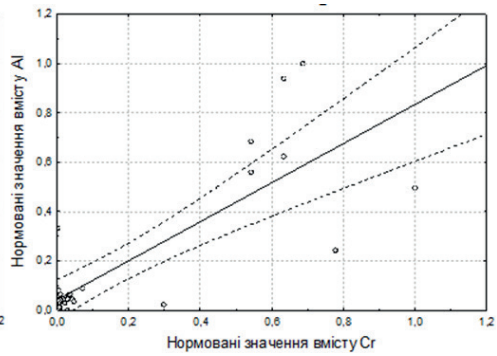


Рис. 5. Графік рівняння регресії між нормованими значеннями вмісту алюмінію і хрому

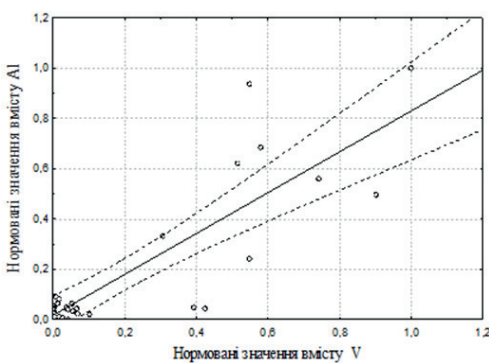


Рис. 6. Графік рівняння регресії між нормованими значеннями вмісту алюмінію і ванадію

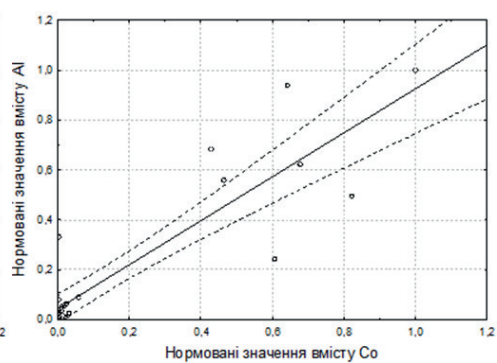


Рис. 7. Графік рівняння регресії між нормованими значеннями вмісту алюмінію і кобальту

Таблиця 1

**Лінійні рівняння регресії між загальним вмістом металів
та геохімічними й геолого-технологічними параметрами нафти**

| Рівняння регресії | Параметри регресії |
|--|---|
| $Al = 0,171 - 0,0376 \cdot Ni;$ | між вмістом алюмінію і нікелю у нафтах |
| $Al = 0,1785 - 0,1855 \cdot Fe;$ | між вмістом алюмінію і заліза у нафтах |
| $Al = 0,188 - 0,1191 \cdot A;$ | між вмістом алюмінію і асфальтенів у нафтах |
| $Al = 0,1832 - 0,1986 \cdot m;$ | між вмістом алюмінію і потужністю покладів |
| $Al = 0,1202 + 0,1569 \cdot C;$ | між вмістом алюмінію і парафінів у нафтах |
| $Al = 0,1139 + 0,165 \cdot \eta_{oil};$ | між вмістом алюмінію і значеннями в'язкості нафти |
| $Al = 0,1037 + 0,299 \cdot Re_{oil};$ | між вмістом алюмінію і смоли у нафтах |
| $Al = 0,0714 + 0,323 \cdot T_{mit. \text{ boil. point}};$ | між вмістом алюмінію і температурами початку кипіння нафти |
| $Al = 0,3671 - 0,3759 \cdot T;$ | між вмістом алюмінію і сучасною температурою у горизонті |
| $Al = 0,1206 + 0,0265 \cdot V/Ni;$ | між вмістом алюмінію і співвідношенням ванадію до нікелю |
| $Al = 0,0447 + 0,5786 \cdot Me_{total};$ | між концентрацією алюмінію і загальним вмістом металів у нафтах |
| $Al = -0,0705 + 0,543 \cdot \rho_{oil};$ | між вмістом алюмінію і значеннями густини нафт |
| $Al = 0,4448 - 0,5499 \cdot P;$ | між вмістом алюмінію і показниками тисків |
| $Al = 0,4397 - 0,5502 \cdot h;$ | між вмістом алюмінію і глибиною розробки |
| $Al = 0,4923 - 0,7048 \cdot M_{layered \text{ water}};$ | між вмістом алюмінію і мінералізацією пластової води |
| $Al = -0,0062 + 0,5946 \cdot Zn;$ | між вмістом алюмінію і цинку у нафтах |
| $Al = -0,02 + 0,8374 \cdot Mn;$ | між вмістом алюмінію і мангану у нафтах |
| $Al = 0,6996 - 0,8401 \cdot \rho_{layered \text{ water}};$ | між вмістом алюмінію і густиною пластової води |
| $Al = -0,0092 + 0,6879 \cdot S;$ | між вмістом алюмінію і сірки у нафтах |
| $Al = 0,0438 + 0,0941 \cdot Hg;$ | між вмістом алюмінію і меркурію |
| $Al = 0,0418 + 0,7917 \cdot Cr;$ | між вмістом алюмінію і хрому у нафтах |
| $Al = 0,0169 + 0,8121 \cdot V;$ | між вмістом алюмінію і ванадію у нафтах |
| $Al = 0,0443 + 0,881 \cdot Co;$ | між вмістом алюмінію і кобальту у нафтах |

луцького та Турутинського, які формують кластер 1.1.1.2.2, за середнього вмісту по кластеру 5,62 ppm. Вміст вище середнього (7,04–7,92 ppm) – відповідно родовища Софіївське та Куличихінське кластера 1.1.2. Високий вміст (20,0–27,1 ppm) пов'язаний з кластером 1.2, який об'єднує відповідно, родовища Сагайдацьке № 1 та Юр'ївське, за середнього значення по кластеру 23,55 ppm. Родовища Кибицівське № 1, Сагайдацьке № 13, Кибицівське № 5, Кибицівське № 56, Кибицівське № 52 та Кибицівське № 51 формують кластер 2, який відповідає родовищам з аномально високою концентрацією алюмінію у нафтах (від 40 ppm до 80 ppm, за середнього значення по кластеру 57,5 ppm).

Результати кластерного аналізу дають можливість запропонувати класифікацію родовищ ДДЗ за вмістом алюмінію у нафтах (таблиця 2).

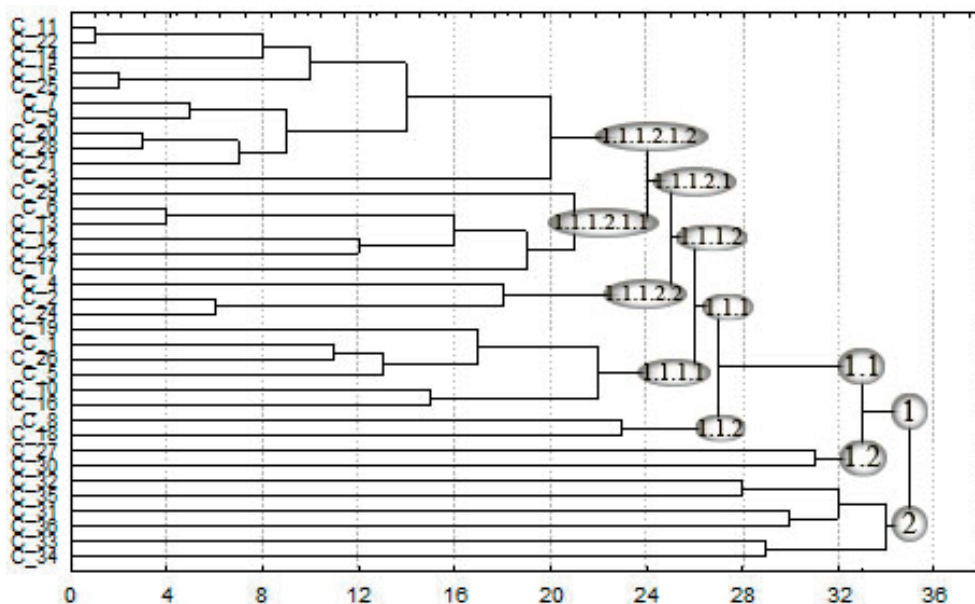


Рис. 8. Дендрограма результатів кластеризації зваженим центроїдним методом родовищ за вмістом алюмінію у нафтах. Умовні позначення: 1, 2, 1.1, 1.2, 2.1, 2.2, 2.3 – кластери;
 C_1 – Бахмачське родовище, C_2 – Прилуцьке родовище, C_3 – Краснозаярське родовище,
 C_4 – Качалівське родовище, C_5 – Кременівське родовище, C_6 – Карайкозівське родовище,
 C_7 – Коробочинське родовище, C_8 – Куличихінське родовище, C_9 – Липоводолінське родовище,
 C_10 – Монастиріщенське родовище, C_11 – Матлаховське родовище,
 C_12 – Малосорочинське родовище, C_13 – Ново-Миколаївське родовище, C_14 – Перекопівське родовище,
 C_15 – Прокопенківське родовище, C_16 – Радченківське родовище,
 C_17 – Розпашинівське родовище, C_18 – Софіївське родовище, C_19 – Суходолівське родовище,
 C_20 – Солонцівське родовище, C_21 – Солохівське родовище, C_22 – Талалаївське родовище,
 C_23 – Тростянецьке родовище, C_24 – Турутинське родовище, C_25 – Харківцівське родовище,
 C_26 – Щуринське родовище, C_27 – Юр'ївське родовище, C_28 – Ярошівське родовище,
 C_29 – Хухрянське родовище, C_30 – Сагайдацьке № 1 родовище,
 C_31 – Сагайдацьке № 13 родовище, C_32 – Кибицівське № 5 родовище, C_33 – Кибицівське № 51 родовище,
 C_34 – Кибицівське № 52 родовище, C_35 – Кибицівське № 56 родовище,
 C_36 – Кибицівське № 1 родовище.

Таблиця 2

Класифікація родовищ ДДЗ за вмістом алюмінію у нафтах

| Тип родовища за вмістом алюмінію | Назва родовища |
|---|---|
| Аномально низький вміст (0,76–1,92 ppm) | Радченківське, Монастирищенське, Кременівське, Бахмачське, Щуринське, Суходолівське |
| Низький вміст (2,43–3,52 ppm) | Хухрянське, Малосорочинське, Тростянецьке, Карайкозівське, Ново-Миколаївське, Розпашнівське |
| Вміст нижче середнього (3,89–4,7 ppm) | Коробочкинське, Липоводолинське, Солонцівське, Ярошівське, Солохівське, Прокопенківське, Західно-Харківцівське, Перекопівське, Талалаївське, Матлаховське, Краснозаярське |
| Середній вміст (5,38–5,77 ppm) | Качалівське, Прилуцьке, Турутинське |
| Вміст вище середнього (7,04–7,92 ppm) | Софіївське, Куличихінське |
| Високий вміст (20,0–27,1 ppm) | Сагайдацьке № 1, Юр'ївське |
| Аномально високий вміст (40–80 ppm) | Кибицівське № 1, Сагайдацьке № 13, Кибицівське № 5, Кибицівське № 56, Кибицівське № 52 та Кибицівське № 51 |

Розгляньмо підстави щодо інтерпретації та оцінювання інформативності результатів виконаних кореляційно-регресійних і кластерного аналізів принаймні у генетичних поняттях. Враховуючи значний обсяг вибірки з одиничних проб (понад 1100 аналізів) та представницький характер сформованої на їх основі групової вибірки (36 родовищ), автори вважають за можливе розглядати наявність дуже слабкого, слабкого, середнього та високого кореляційного зв'язку алюмінію з іншими металами або іншими показниками, як існування природних залежностей – трендів. На наш погляд, така незначна тіснота зв'язків може бути обумовлена як складним, нелінійним їх характером, так і різноспрямованим впливом ще й неврахованих факторів.

Наприклад, дуже слабкий кореляційний зв'язок алюмінію із вмістом смоли, асфальтенів та парафінів свідчить про переважне його накопичення у легкій бензиновій фракції нафти. Цей висновок добре кореспондує з даними, що наведені в роботах (Valkjvic, 1988; Zlotnicka, 1992; Yen, 2015). При цьому наявність слабкого позитивного кореляційного зв'язку концентрацій алюмінію з густиною нафт свідчить про присутність вельми незначної його частини у складі також і важких фракцій.

У плані можливостей генетичної інтерпретації отриманих результатів особливий інтерес викликає високий і дуже високий прямий кореляційний зв'язок між Al та S, Hg, Cr, V і Co. У статті М. А. Лур'є і Ф. К. Шмідт (2018) на великому фактичному матеріалі переконливо аргументують вплив глибинних газоворідких потоків мантийного походження на вміст S в нафтах. У роботі (Якуцени, 2010) проаналізовано глибинну зональність у накопиченні елементів-домішок

нафт і звернено увагу на досить високі концентрації в нафтах з глибоких горизонтів з низьким вмістом асфальтово-смолистих компонентів токсичних елементів, у тому числі Hg та Cr. Як правило, такі нафти зустрічаються в зонах молодих прогинів, і таке явище може бути пов'язане з продуктами еманції мантії на ділянках її активізації. Про можливість накопичення Hg, Cr, V і Co в нафтах абіогенним шляхом за рахунок мантійних розплавів повідомляється у публікації М. А. Лур'є та Ф. К. Шмідта (2009.). Збагачення цими елементами нафти відбувається на родовищах з добре проявленою розривною тектонікою, яка генетично обумовлена геодинамічним впливом глибинних розломів. У роботі (Єрофєєв, Ішков & Козій, 2021) висловлюється думка, що присутність у нафтах таких «абіогенних елементів», як Al, Cr і Hg свідчить про участь у нафтогенезі глибинних флюїдів. У зв'язку з цим дуже цікавими та інформативними на наш погляд є знахідки самородного алюмінію в колекторах нафти та газу (Лукин, 2008). Є. Ф. Шнюков із співавторами (Шнюков, Гожик & Краюшкин, 2007), особливу увагу приділили концентраціям у нафтах ванадію та нікелю, не лише як основи для вирішення промислово-екологічних та економічних питань розробки нафтових родовищ, але й для фундаментальних наукових розробок у галузі її походження. Вони обґрунтували геохімічно тотожне ставлення V/Ni як єдине достовірне свідчення «генетичної кривності» нафт, тобто їхнє походження лише з одного й того самого джерела. Водночас автори (Шнюков, Гожик & Краюшкин, 2007) відзначають, що співвідношення цих елементів має три рівня: $< 0,1$; $0,1-1,0$; $> 1,0$. Рівень $> 1,0$, на їхню думку, відповідає осередкам «глибинного, небіотичного нафтогазоутворення з властивою лише їм здатністю продукувати генетично споріднені нафти протягом майже 500 млн рр.» (Шнюков, Гожик & Краюшкин, 2007).

Моделювання контакту легких та важких нафт з породами, проведене Ф. Р. Бабаєвим (1985) та Д. І. Зульфугарлі (2017) переконливо показало, що нафти не збагачуються хімічними елементами з порід. Дослідження вмісту елементів-домішок у нафтах та водах нафтових родовищ Азербайджану, виконане О. Д. Ізраєлянцем (1999; 2000), свідчить про те, що багато елементів, що містяться в нафтах у підвищених концентраціях, у пластових водах нафтових родовищ відсутні, або мають зникаючі вмісти. Отже, основним джерелом алюмінію та пов'язаних з ним високим і дуже високим прямим кореляційним зв'язком S, Hg, Cr, V і Co можуть бути тільки глибинні воднево-вуглеводневі флюїди. Таким чином, родовища які характеризуються високим та аномально високим вмістом алюмінію формувалися з нафт абіотичних джерел.

ВИСНОВКИ

Аналіз результатів виконаних досліджень дає змогу сформулювати такі основні висновки: 1. Встановлено, що середній загальний вміст алюмінію у нафті розглянутих родовищ становить $13,794 \pm 3,556$ ppm при медіанному значенні 4,24 ppm. Відповідно до результатів тестів Колмогорова-Смірнова,

Лілліефорса, згоди хі-квадрат Пірсона та Шапіро-Уїлка розподіл значень алюмінію у вибірці нафт зі всіх розглянутих родовищ не відповідає логнормальному чи нормальному закону розподілу та має полімодальний характер. Отже, для оцінки центральної характеристики вмісту алюмінію у нафтах розглянутих родовищ коректніше використовувати не середнє арифметичне значення, а медіанне. 2. Доведено, що вміст алюмінію у нафтах розглянутих родовищ пов'язаний зворотним кореляційним зв'язком із: концентраціями Ni, Fe, асфальтенів, середньою потужністю продуктивного горизонту, сучасною температурою продуктивних горизонтів, значеннями сучасного тиску у продуктивних горизонтах, сучасною глибиною продуктивних горизонтів, мінералізацією пластової води з продуктивних горизонтів, густиною пластової води з продуктивних горизонтів; та прямим кореляційним зв'язком із: вмістом парафінів, значеннями в'язкості нафти, вмістом смоли, температурою початку кипіння, співвідношенням концентрацій V / Ni , загальним вмістом металів, значеннями густини нафти, концентраціями Zn, Mn, S, Hg, Cr, V, Co. 3. Розраховано коефіцієнти кореляції та рівняння регресії між концентраціями алюмінію у нафтах та всіма вище згаданими показниками. 4. Розроблено природну класифікацію родовищ ДДЗ за вмістом алюмінію у нафтах. 5. Виконано інтерпретацію у генетичних поняттях результатів кореляційних та кластерного аналізів, яка дозволила встановити перелік родовищ сформованих нафтою абіогенного походження.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в розробці природної класифікації родовищ нафти ДДЗ за вмістом алюмінію та встановленні зв'язку цього показника з концентрацією окремих елементів-домішок, основних складових нафти та основних геолого-технологічних показників родовищ ДДЗ. **Основна практична цінність** виконаних досліджень полягає у встановленні концентрацій та можливості прогнозування концентрації алюмінію у нафтах родовищ ДДЗ, що у свою чергу надає можливість вирішення таких актуальних завдань практичного спрямування: **низки екологічних та технологічних питань**, які обумовлені негативним впливом алюмінію у нафтах на геологічне середовище та технології видобутку і використання обладнання у ході видобування нафти та її переробки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- Бабаев Ф. Р. Геохимия нефтей среднеплиоценовых отложений Южно-Каспийской впадины. *Автореферат доктора геол.-мин. наук*. Баку. 1985. 50 с.
- Єрофеев А. М., Ішков В. В., Козій Є. С. Вплив основних геолого-технічних показників Качалівського, Куличихінського, Матлаховського, Малосорочинського та Софіївського родовищ на вміст ванадію у нафті. *Український гірничий форум: Матеріали міжнар. наук.-техн. конф.*, Дніпро, Україна. 2021. С. 177–185.
- Єрофеев А. М., Ішков В. В., Козій Є. С., Барташевський С. С. Дослідження методів кластеризації родовищ нафти Дніпровсько-Донецької западини з метою створення їх класифікації за вмістом металів (на прикладі V). *Наукові праці Донецького національного технічного університету. Сер. Гірничо-геологічна*. 2021. № 1(25)-2(26). С. 83–93. – а. [https://doi.org/10.31474/2073-9575-2021-1\(25\)-2\(26\)-83-93](https://doi.org/10.31474/2073-9575-2021-1(25)-2(26)-83-93)

Срофєєв А. М., Ішков В. В., Козій Є. С., Барташевський С. Є. Геохімічні особливості нікелю у нафтах родовищ Дніпровсько-Донецької западини. *Збірник наукових праць «Геотехнічна механіка»*. 2021. № 160. С. 17–30. – б.

Зульфугарлы Д. И. Распространение микроэлементов в каустобиолитах, организмах, осадочных породах и пластовых водах. *Издательство Азербайджанского ун-та*, Баку. 2017. 230 с.

Израилян А. Д. Микроэлементы в золах нефтей майкопской свиты Азербайджана. *Тр. Азерб. науч.-исслед. ин-т по добыче нефти*. Вып. 8. Баку. 1999. С. 274–280.,

Израилян А. Д. Распределение комплекса микроэлементов в отложениях майкопской свиты в системе нефть-порода-воды. *Тр. Азерб. науч. исслед. ин-т по добыче нефти*. Вып. 9. Баку. 2000. С. 37–43.

Ішков В. В., Козій Є. С. Про розподіл токсичних і потенційно токсичних елементів у вугіллі пласта с₁₁^а шахти «Павлоградська» Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району. *Вісник Київського національного університету. Геологія*. 2017. № 79. С. 59–66. – а. doi.org/10.17721/1728–2713.79.09

Ішков В. В., Козій Є. С. Про розподіл токсичних і потенційно токсичних елементів у вугіллі пласта с₁₀^а шахти «Дніпровська» Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району Донбасу. *Збірник наукових праць «Геотехнічна механіка»*. 2017. № 133. С. 213–227. – б.

Ішков В. В., Козій Є. С. Деякі особливості розподілу берилію у вугільному пласті k₃ шахти «Капітальна» Красноармійського геолого-промислового району Донбасу. *Вісник ОНУ. Сер.: Географічні та геологічні науки*. 2020. Т. 25. вип. 1(36). С. 214–227.

Ішков В. В., Козій Є. С. Розподіл арсену та ртуті у вугільному пласті k₃ шахти «Капітальна», Донбас. *Мінералогічний журнал*. 2021. № 43(4). С. 73–86. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.43.04.073>

Ішков В. В., Козій Є. С. Новые данные о распределении токсичных и потенциально токсичных элементов в угле пласта с₆^а шахты «Терновская» Павлоград-Петропавловского геолого-промышленного района. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*. 2013. № 41. С. 201–208.

Ішков В. В., Козій Є. С. О распределении золы, серы, марганца в угле пласта с₄ шахты «Самарская» Павлоград-Петропавловского геолого-промышленного района. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*. 2014. № 44. С. 178–186.

Козій Є. С. Особливості розподілу токсичних і потенційно токсичних елементів у вугіллі пласта с₁₀^а шахти «Сташкова» Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району. *Збірник наукових праць «Геотехнічна механіка»*. 2017. № 132. С. 157–172.

Козій Є. С. Миш'як, берилій, фтор і ртуть у вугіллі пласта с₈^а шахти «Дніпровська» Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району. *Вісник Дніпропетровського університету. Геологія, географія*. 2018. № 26(1). С. 113–120. <https://doi.org/10.15421/111812>

Козій Є. С., Ішков В. В. Класифікація вугілля основних робочих пластів Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району по вмісту токсичних і потенційно токсичних елементів. *Збірник наукових праць «Геотехнічна механіка»*. 2017. № 136. С. 74–86.

Лукин А. Е. Самородный алюминий в коллекторах нефти и газа. *Доповіді Національної академії наук України*. 2008. № 12. С. 100–107.

Лурье М. А., Шмидт Ф. К. Генетические аспекты нефтегазообразования, серосодержание и металлоносность нефтей. *Докл. РАН*. 2009. 424(4). С. 534–537.

Лурье М. А., Шмидт Ф. К. О классификации нефтей. Сернистость как генетический классификационный показатель. *Нефть и газ*. 2018. № 4. С. 115–121.

Нукенов Д. Н., Пуанова С. А. Металлы в нефтях и перспективы добычи ванадия в нефтях Бузачинского свода Туранской платформы. *Современные проблемы геологии нефти и газа. М: Научн. мир*. 2001. С. 347–353.

Суханов А. А., Петрова Ю. Э. Ресурсная база попутных компонентов тяжелых нефтей России. *Нефтегазовая геология. Теория и практика*. 2008. № 3. С. 1–11.

Хлібнішин Ю. Я., Шакір Абд Ал-Амері Мохаммад, Гринишин О. Б., Почапська І. Я. Дослідження дистильованої частини високосіркової нафти Орховицького нафтового родовища. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. 2013. № 761. С. 462–465.

Шнюков Е. Ф., Гожик П. Ф., Краюшкин В. А. Ванадий и никель в природных нефтях Азии, Африки, Европы, Северной и Южной Америки. *Допов. НАН України*. 2007. № 3. С. 137–141.

Якуцени С. П. Глубинная зональность в обогащенности углеводородов тяжелыми элементами-примесями. *Нефтегазовая геология. Теория и практика*. 2010. Т. 5. № 2. С. 36–41

Акроева, О. V., Osakwe, S. A. Determination of Heavy Metal Contents in Refined Petroleum. *IOSR Journal of Applied Chemistry*. 2014. No. 7(6). 1–2.

Barwise, A. J. G. Role of nickel and vanadium in petroleum classification. *Energy Fuels*. 1990. no. 4(6). 647–652.

Ishkov, V. V., Kozii, Ye. S., Lozovoi, A.L. Definite peculiarities of toxic and potentially toxic elements distribution in coal seams of Pavlograd-Petropavlovka region. *Zbirnyk naukovykh prats Natsionalnoho hirnychoho universytetu*. 2013. No. 42. 18–23.

Kozar, M. A., Ishkov, V. V., Kozii, Ye. S., Pashchenko, P.S. New data about the distribution of nickel, lead and chromium in the coal seams of the Donetsk-Makiivka geological and industrial district of the Donbas. *Journal Geol. Geograph. Geocology*. 2020. No. 29(4). 722–730. <https://doi.org/10.15421/112065>

Kozii, Ye. S. Toxic elements in the c₁ coal seam of the Blahodatna mine of Pavlograd-Petropavlivka geological and industrial area of Donbas. *Collection of scientific works "Geotechnical Mechanics"*. 2021. No. 158. 103–116.– (a). <https://doi.org/10.15407/geotm2021.158.103>

Kozii, Ye. S. Arsenic, mercury, fluorine and beryllium in the c₁ coal seam of the Blahodatna mine of Pavlograd-Petropavlivka geological and industrial area of Western Donbas. *Collection of scientific works "Geotechnical Mechanics"*. 2021. No. 159. 58–68.– (6). <https://doi.org/10.15407/geotm2021.159.058>

Valkjvic, V. Trace Elements in petroleum. USA, Tulsa, Oklahoma. 1988. 265.

Wilberforce, J.O. Profile of Heavy Metals in Crude Oil Commonly Consumed for Medicinal Purposes in Abakaliki. *IOSR J. of Pharmacy and Biological Sci.* 2016. No. 11(3). 43–44.

Yen, T. F. Chemical aspects of metals in native petroleum. The role of trace metals in petroleum. *Ann. Arbor Science Publishers*. USA. 2015. 1–31.

Zlotnicka, J. Die Bestimmung der Migrationsrichtungen und die Korrelation der Erdolhorizonte auf Grund der Spurenelemente in der Erdolaschen am Beispiel der Unteren Kreide. III Intern. *Wissenschaftliche Konferenz*, Budapest. 1992. 193–198.

REFERENCES

Babaev F.R. (1985). Geohimiya neftey srednepliotenoviyh otlozheniy Yuzhno-Kaspiyskoy vpadiny (Geochemistry of oils in the Middle Pliocene deposits of the South Caspian Basin). *Abstract of doctor of geol.-min. Sciences*. Baku, 50 p. [in Russian].

Yerofieiev A.M., Ishkov V.V., Kozii Ye. S. (2021). Vplyv osnovnykh heoloho-tekhnichnykh pokaznykiv Kachalivskoho, Kulychykhinskoho, Matlakhovskoho, Malosorochynskoho ta Sofiivskoho rodovyshech na vmist vanadiiu u nafti (Influence of main geological and technical indicators of Kachalivskiy, Kulychykhinskiy, Matlakhovskiy, Malosorochynskiy and Sofiivskiy deposits on vanadium content in the oil). *Int. Sci. and Techn. Conf. "Ukrainian mining forum"*, NTU Dniprovskaya Politehnika, pp. 177–185. [in Ukrainian].

Yerofieiev A.M., Ishkov V.V., Kozii Ye. S., Bartashevskiy S. Ye. (2021). Research of clusterization methods of oil deposits in the Dnipro-Donetsk depression with the purpose of creating their classification by metal content (on the vanadium example). *Sci. Papers of DONNTU Series: "The Mining and Geology"*, No. 1(25)-2(26), pp. 83–93. – a. [https://doi.org/10.31474/2073-9575-2021-1\(25\)-2\(26\)-83-93](https://doi.org/10.31474/2073-9575-2021-1(25)-2(26)-83-93) [in Ukrainian].

Yerofieiev A.M., Ishkov V.V., Kozii Ye. S., Bartashevskiy S. Ye. (2021). Heokhimichni osoblyvosti nikeliu u naftakh rodovyshech Dniprovsko-Donetskoi zapadyny. (Geochemical features of nickel in the oils of the Dnipro-Donetsk basin). *Collection of scientific works "Geotechnical Mechanics"*, No. 160, pp. 17–30. – b.

Zulfugarlyi D.I. (2017). Rasprostraneniye mikroelementov v kaustobiolitah, organizmah, osadochnykh porodah i plastovykh vodah (Distribution of trace elements in caustobioliths, organisms, sedimentary rocks and formation waters). *Izdatelstvo Azerbaydzhanskogo un-ta*, Baku. 230.

Israelyan, A.D. (1999). Mikroelementy v zolakh neftey maykopskoy svityi Azerbaydzhana (Trace elements in the ashes of oils of the Maikop suite of Azerbaijan). *Tr. Azerb. nauch.-issled. in-t po dobyiche nefii*. V. 8. Baku. 274–280. [in Russian].

Israelyan, A.D. (2000). Raspredeleniye kompleksa mikroelementov v otlozheniyah maykopskoy svityi v sisteme neft-poroda-vodyi (Distribution of a complex of trace elements in the sediments of the Maikop suite in the oil-rock-water system). *Tr. Azerb. nauch. issled. in-t po dobyiche nefii*. V. 9. Baku. 37–43. [in Russian].

Ishkov, V. V., Kozii, E. S. (2017). Pro rozpodil toksychnykh i potentsiino toksychnykh elementiv u vuhilli plasta s₇ⁿ shakhty «Pavlohradskaya» Pavlohradsko-Petropavlivskoho heoloho-promyslovoho raionu (Distribution of toxic and potentially toxic elements in the coal of the layer c₇ⁿ of the «Pavlogradskaya» mine of Pavlogradsko-Petropavlovskiy geological and industrial district). *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu. Heolohiia*, vyp. 79(4), pp. 59–66. – a. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.79.09> [in Ukrainian].

Ishkov, V. V., Kozii, E. S. (2017). Pro rozpodil toksychnykh i potentsiyno toksychnykh elementiv u vuhilli plasta s₁₀^v shakhty «Dniprovskaya» Pavlohradsko-Petropavlivskoho heoloho-promyslovoho rayonu Donbasu (About distribution of toxic and potentially toxic elements in coal layer c₁₀^v of mine «Dniprovskaya» of Pavlogradsko-Petropavlovskiy geological and industrial district). *Collection of scientific works "Geotechnical Mechanics"*, No. 133, pp. 213–227. – b. [in Ukrainian].

Ishkov, V. V., Kozii, Ye. S. (2020). Deiaiki osoblyvosti rozpodilu beryliu u vuhilnomu plasti k₅ shakhty «Kapitalna» Krasnoarmiiskoho heoloho-promyslovoho raionu Donbasu (Some features of beryllium distribution in the k₅ coal seam of the «Kapitalna» mine of the Krasnoarmiiskiy geological and industrial district of Donbas). *Odesa national university herald. Series Geography & Geology*, Vol. 25. No. 1(36), pp. 214–227. [https://doi.org/10.18524/2303-9914.2020.1\(36\).205180](https://doi.org/10.18524/2303-9914.2020.1(36).205180) [in Ukrainian].

Ishkov, V. V., Kozii, Ye. S. (2021). Rozpodil arsenu ta rtuti u vuhilnomu plasti k₅ shakhty «Kapitalna», Donbas (Distribution of arsenic and mercury in the coal seam k₅ of the Kapitalna mine, Donbas). *Mineral. Journ. (Ukraine)*. No. 43(4). 73–86. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.43.04.073> [in Ukrainian].

Ishkov, V. V., Kozii, E. S. (2013). Novyye dannyye o raspredelenii toksichnykh i potentsialno toksichnykh elementov v ugle plasta s₆ⁿ shahty «Ternovskaya» Pavlograd-Petropavlovskogo geologo-promyshlennogo rayona (New data about distribution of toxic and potentially toxic elements in the coal seam c₆ⁿ of the Ternovskaya mine of Pavlograd-Petropavlivka geological and industrial area). *Coll. Sci. Works of Nat. Mining. Univ.* No. 41. 201–208. [in Russian].

Ishkov, V. V., Kozii, Ye. S. (2014). O raspredelenii zolyi, seryi, margantsa v ugle plasta s₄ shahty «Samarskaya» Pavlograd-Petropavlovskogo geologo-promyshlennogo rayona (About distribution of ash, sulfur, manganese in the coal seam c₄ of «Samarskaya» mine of Pavlograd-Petropavlovsky geological and industrial area). *Coll. Sci. Works of Nat. Mining. Univ.* No. 44. 178–186. [in Russian].

Kozii, E. S. (2017). Osoblyvosti rozpodilu toksychnykh i potentsiino toksychnykh elementiv u vuhilli plasta s₁₀^v shakhty «Stashkova» Pavlohradsko-Petropavlivskoho heoloho-promyslovoho raionu (Peculiarities of distribution of toxic and potentially toxic elements in the coal of the layer c₁₀^v in the Stashkov mine of Pavlograd-Petropavlovsk geological and industrial district). *Collection of scientific works "Geotechnical Mechanics"*, No. 132. 157–172. [in Ukrainian].

Kozii, E. S. (2018). Myshiak, berylii, fluor i rtut u vuhilli plasta s₈^v shakhty «Dniprovska» Pavlohradsko-Petropavlivskoho heoloho-promyslovoho raionu (Arsenic, beryllium, fluorine and mercury in the coal of the layer c₈^v of the «Dniprovska» mine of Pavlohradsko-Petropavlovskiy geological and industrial district). *Dniprop. Univer. Bull., Geol., geography*. No. 26(1). 113–120. <https://doi.org/10.15421/111812> [in Ukrainian].

Kozii, E. S., Ishkov, V. V. (2017). Klasyfikatsiia vuhillia osnovnykh robochykh plastiv Pavlohradsko-Petropavlivskoho heoloho-promyslovoho raionu po vmistu toksychnykh i potentsiino toksychnykh elementiv (Coal classification of main working seams of Pavlohrad-Petropavlivka geological and industrial district on content of toxic and potentially toxic elements). *Collection of scientific works "Geotechnical Mechanics"*, No. 136, 74–86. [in Ukrainian].

Lukyn, A.E. (2008). Samorodnyii aliumynyi v kollektorakh nefty y haza (Native aluminum in oil and gas collectors). *Dopovidi Natsionalnoi akademii nauk Ukrainy*, No. 12, 100–107.

Lure, M. A., Shmidt F.K. (2009). Geneticheskie aspekty neftegazobrazovaniya, serosoderzhanie i metallonosnost neftey (Genetic aspects of oil and gas formation, sulfur content and metal content of oil). *Dokl. RAN*, 424(4), 534–537.

Lure, M. A., Shmidt, F. K. (2018). O klassifikatsii neftey. Sernistost kak geneticheskiy klassifikatsionnyy pokazatel (About the classification of oils. Sulfur content as a genetic classification indicator). *Oil and gas*, No. 4, 115–121. [In Russian].

Nukenov, D. N., Punanova, S. A. (2001). Metally v naftidakh i perspektivy dobychi vanadiya v neftyah Buzachinskogo svoda Turanskoy platformy (Metals in naphthides and prospects for the production of vanadium in the oils of the Buzachin Code of the Turan Platform). *Modern problems of oil and gas geology. Scientific World. M: Nauchn. mir*, 347–353. [in Russian].

Sukhanov, A. A., Petrova, Yu. E. (2008). Resursnaya baza poputnykh komponentov tyazhelykh neftey Rossii (Resource base of associated components of heavy oils in Russia). *Petroleum and gas geology. Theory and Practice*. No. 3. 1–11. [in Russian].

Khlibyshyn, Yu. Ya., Mohammad, Sh. A., Hrynshyn, O. B. (2013). Doslidzhennia dystylnatnoi chastyny vysokosirkovoi nafty Orkhovytskoho naftovoho rodovyshecha (Investigation of the distillate part of high-sulfur oil of Orkhovytsia oil field). *Bulletin of Lviv Polytechnic National University*, No. No. 761, 462–465. [in Ukrainian]

Shnyukov, E. F., Gozhik, P. F., Krayushkin, V. A. (2007). Vanadiy i nikel v prirodnykh neftyah Azii, Afriki, Evropyi, Severnoy i Yuzhnoy Ameriki (Vanadium and nickel in natural oils of Asia, Africa, Europe, North and South America). *Dopov. Nac. akad. nauk Ukrainy*. No. 3. P. 137–141. [in Russian].

Yakutseni, S.P. (2010). Glubinnaya zonalnost v obogashchennosti uglevodorodov tyazhelyimi elementami-primesyami (Deep zoning in the enrichment of hydrocarbons in heavy elements-impurities). *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika*, V. 5, No. 2, 36–41. [in Russian].

Akpoveta, O. V., Osakwe, S. A. (2014). Determination of Heavy Metal Contents in Refined Petroleum. *IOSR Journal of Applied Chemistry*. No. 7(6). 1–2.

- Barwise, A. J. G. (1990). Role of nickel and vanadium in petroleum classification. *Energy Fuels*. no. 4(6). 647–652.
- Ishkov, V. V., Kozii, Ye. S., Lozovoi, A. L. (2013). Definite peculiarities of toxic and potentially toxic elements distribution in coal seams of Pavlograd-Petropavlovka region. *Zbirnyk naukovykh prats Natsionalnoho hirnychoho universytetu*. No. 42. 18–23.
- Kozar, M. A., Ishkov, V. V., Kozii, Ye. S., Pashchenko, P. S. (2020). New data about the distribution of nickel, lead and chromium in the coal seams of the Donetsk-Makiivka geological and industrial district of the Donbas. *Journal Geol. Geograph. Geoecology*. No. 29(4). 722–730. <https://doi.org/10.15421/112065>
- Kozii, Ye. S. (2021). Toxic elements in the c1 coal seam of the Blahodatna mine of Pavlohrad-Petropavlivka geological and industrial area of Donbas. *Collection of scientific works "Geotechnical Mechanics"*. No. 158. 103–116.– (a). <https://doi.org/10.15407/geotm2021.158.103>
- Kozii, Ye. S. (2021). Arsenic, mercury, fluorine and beryllium in the c₁ coal seam of the Blahodatna mine of Pavlohrad-Petropavlivka geological and industrial area of Western Donbas. *Collection of scientific works "Geotechnical Mechanics"*. No. 159. 58–68.– (6). <https://doi.org/10.15407/geotm2021.159.058>
- Valkjvic, V. (1988). Trace Elements in petroleum. USA, Tulsa, Oklahoma. 265.
- Wilberforce, J. O. (2016). Profile of Heavy Metals in Crude Oil Commonly Consumed for Medicinal Purposes in Abakaliki. *IOSR J. of Pharmacy and Biological Sci.* No. 11(3). 43–44.
- Yen, T.F. (2015). Chemical aspects of metals in native petroleum. The role of trace metals in petroleum. *Ann. Arbor Science Publishers*. USA. 1–31.
- Zlotnicka, J. (1992). Die Bestimmung der Migrationsrichtungen und die Korrelation der Erdolhorizonte auf Grund der Spurenelemente in der Erdolaschen am Beispiel der Unteren Kreide. III Intern. *Wissenschaftliche Konferenz*, Budapest. 193–198.

Надійшла 03.06.2023

V. V. Ishkov^{1,2},

Ye. S. Kozii¹,

M. A. Kozar³,

¹Dnipro University of Technology

Dmytra Yavornytskoho ave. 19, Dnipro, 49005, Ukraine.

²Institute of Geotechnical Mechanics named by M. S. Poliakov of National Academy of Sciences of Ukraine, Simferopolska St., 2a, 49005, Dnipro, Ukraine

³M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine

Academician Palladin Ave., 34, Kyiv, 03142, Ukraine

ishwishw37@gmail.com

GEOCHEMISTRY FEATURES OF ALUMINUM IN OILS AND CLASSIFICATION OF THE DEPOSITS OF THE DNIPRO-DONETSK DEPTH ACCORDING TO ITS CONTENT

Abstract

Problem Statement and Purpose. The purpose of this publication is to establish, on the basis of geochemical studies of oils, the specifics of the relationship between aluminum concentrations and the content of other impurity metals, the values of the main mining, industrial and technological parameters and indicators of oils and their deposits, and to develop a natural classification of oil deposits on the example of Dnipro-Donetsk depth by content aluminum. Solving the task of the article will contribute to the development of a set of predictive criteria for hydrocarbon accumulations and the scientific substantiation of the geological-economic,

technological and ecological assessment of their use, which in turn determines the relevance and practical value of the conducted research.

Data & Methods. The factual basis of the work was the results of analyzes of metal content in oils from 36 deposits. At least 30 oil samples from each deposit were tested for metal content using X-ray fluorescence analysis on an energy-dispersive spectrometer. All values of metals concentrations and their technological parameters were normalized to bring the information to the same scale, regardless of the units of measurement and the scale of the samples. Calculated normalized values of indicators of oil samples from each deposits were processed using the STATISTICA 11.6 program, which performed the calculation of descriptive statistics, correlation, regression, cluster analyzes and graphical visualization of the results of the performed studies.

Results. It has been proven that the aluminum content in the oils of the considered deposits is inversely correlated with the following factors: concentrations of Ni, Fe, asphaltenes, the average capacity of the productive horizon, the current temperature of the productive horizons, the values of the current pressure in the productive horizons, the current depth of the productive horizons, the mineralization of the reservoir water from productive horizons, the density of formation water from productive horizons. And direct correlation with paraffin content, oil viscosity values, resin content, boiling point, V / Ni concentration ratio, total metal content, oil density values, Zn, Mn, S, Hg, Cr, V, Co concentrations. A natural classification of Dnipro-Donetsk depth deposits based on aluminum content in oils has been developed. The results of correlation and cluster analyzes were interpreted in genetic terms, which made it possible to establish a list of deposits formed by oil of abiogenic origin.

Keywords: aluminum, oil, impurity elements, metal content, correlation relationship, regression equation, cluster analysis.