


УДК 550.42:553.98

**В. В. ІШКОВ**, канд. геол. наук, доц. каф. геології та розвідки родовищ корисних копалин (Національний технічний університет "Дніпровська політехніка"), ст. наук. співроб. лабораторії досліджень структурних змін гірських порід (Інститут геотехнічної механіки ім. М. С. Полякова НАН України), ishwishw37@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3987-208X>,  
**Є. С. КОЗІЙ**, канд. геол. наук, директор Навчально-наукового центру підготовки іноземних громадян (Національний технічний університет "Дніпровська політехніка"), koziy.es@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2167-6224>,  
**М. А. КОЗАР**, канд. геол. наук, ст. наук. співроб. відділу геологічних та геохімічних досліджень (Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М. П. Семененка НАН України), geolog46@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-9070-4121>

 <https://doi.org/10.31996/mru.2023.1.23-34>

**V. ISHKOV**, Candidate of Geological Mineralogical Sciences, Assistant Professor of Department of Geology and Mineral Prospecting (Dnipro University of Technology), Senior Research Fellow of Laboratory of Studies of Structural Changes Rocks (Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poliakov of NAS of Ukraine), ishwishw37@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3987-208X>,  
**Ye. KOZII**, Candidate of Geological Sciences, Director Educational and Scientific Center for Training of Foreign Citizens (Dnipro University of Technology), koziy.es@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2167-6224>,  
**M. KOZAR**, Candidate of Geological Sciences, Senior Research Fellow (M. P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine), geolog46@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-9070-4121>

## РОЗРОБКА КЛАСИФІКАЦІЙ РОДОВИЩ НАФТИ ЗА ВМІСТОМ МЕТАЛІВ (НА ПРИКЛАДІ ДНІПРОВСЬКО-ДОНЕЦЬКОЇ ЗАПАДИНИ)

### DEVELOPMENT OF CLASSIFICATIONS OF OIL DEPOSITS BY THE CONTENT OF METALS (ON THE EXAMPLE OF THE DNIPRO-DONETSK DEPRESSION)

Представлено результати багаторічних геохімічних досліджень вмісту таких металів, як алюміній, ртуть, хром, марганець, залізо, цинк, кобальт, нікель та ванадій, а також загальних концентрацій цих металів і сірки у нафті з 36 родовищ основного нафтогазоносного регіону України – Дніпровсько-Донецької западини.

Мета досліджень полягала у розробці класифікації родовищ нафти на прикладі Дніпровсько-Донецької западини на основі геохімічних досліджень вмісту металів та їх кластерного аналізу, яку можна використовувати як найсуворіший критерій їх поділу на дві принципово різні групи – родовища, сформовані переважно нафтами біогенного походження, та родовища, що містять нафту суттєво абіогенної генерації.

За результатами кластерного аналізу вперше розроблено природні класифікації цих родовищ за переліченими показниками та за співвідношенням V/Ni, що наведено у статті у вигляді дендрограм. Показано, що за результатами кластерного аналізу, вибіркові середні значення проаналізованих показників значущо відрізняються між окремими родовищами чи групами родовищ в установлених рядах, що можна інтерпретувати в термінології якісної оцінки так: аномально низькі; низькі; нижче середніх; середні; вище середніх; високі; аномально високі. Аналіз результатів досліджень та їхня інтерпретація у генетичному сенсі із порівнянням з трьома різними геохімічними критеріями відношення походження нафти до абіогенних або біогенних джерел нафтогенезу, згідно з існуючими уявленнями, надала можливість встановити, по-перше, родовища, які за кожним із цих уявлень відносяться до сформованих переважно абіогенною речовиною, по-друге, встановити та проаналізувати збіг та відмінності у переліку цих родовищ.

Обґрунтовано, що порівняльний аналіз результатів кластеризації розглянутих родовищ за вмістом у нафті таких абіогенних елементів, як алюміній і ртуть, за результатами їх кластеризації за концентраціями ванадію, хрому і кобальту показує, що сукупність родовищ, які відносяться до кластерів з високим і аномально високим вмістом ванадію, хрому і кобальту, відрізняється від переліку родовищ з високими та аномально високими концентраціями алюмінію і ртуті тільки відсутністю Юр'ївського родовища. Таким чином, є сенс брати до уваги як критерій виділення родовищ з нафтою суттєво абіогенного походження, крім концентрацій ванадію, хрому і кобальту, ще й співвідношення Co/Ni та Cr/Ni.

**Ключові слова:** нафта, родовища, Дніпровсько-Донецька западина, кластерний аналіз, дендрограма, класифікація, співвідношення V/Ni, генезис.

The results of long-term geochemical studies of the content of metals: aluminum, mercury, chromium, manganese, iron, zinc, cobalt, nickel and vanadium are presented, as well as the total concentration of these metals and sulfur in oils from 36 deposits of the main oil and gas-bearing region of Ukraine – the Dnipro-Donetsk Basin.

The purpose of the research was to develop a classification of oil deposits on the example of the Dnipro-Donetsk basin based on geochemical studies of metal content and their cluster analysis, which can be used as the strictest criterion for dividing them into two fundamentally different groups – deposits formed mainly by oils of biogenic origin and deposits that contain oil of essentially abiogenic generation.

According to the results of the cluster analysis, natural classifications of these deposits were developed for the first time according to the listed indicators and the V/Ni ratio, which are presented in the work in the form of dendrograms. It is shown that according to the results of the cluster analysis, the sample mean values of the analyzed indicators, which differ significantly between individual deposits or groups of deposits in the established series, can be interpreted in the terminology of qualitative assessment as: abnormally low; low; below average; average; above average; high; abnormally high. The analysis of the research results and their interpretation in the genetic sense with comparison with three different geochemical criteria of the relationship of the origin of oil to abiogenic or biogenic sources of petrogenesis according to the existing ideas made it possible to establish, firstly, the deposits that, according to each of these ideas, belong to those formed mainly by abiogenic matter, second, to establish and analyze coincidences and differences in the list of these deposits.

It is substantiated that the comparative analysis of the results of the clustering of the considered deposits by the content of such abiogenic elements as Al and Hg in the oils according to the results of their clustering by the concentrations of V, Cr and Co shows that the totality of the deposits belonging to the clusters with high and abnormally high content of V, Cr and Co differs from the list of deposits with high and abnormally high con-

centrations of Al and Hg only in the absence of the Yuryivskiy deposit, and they completely coincide with each other. Thus, high and abnormally high contents of V, Cr and Co in the oils of the studied fields, based on the logic of previous studies, can be used as a stricter criterion for dividing them into two fundamentally different groups – fields formed mainly by oils of biogenic origin and fields containing oil significantly abiogenic generation. In this regard, according to the previously established laws, it makes sense to consider as a criterion the selection of deposits with oil of essentially abiogenic origin besides the concentrations of V, Cr and Co, also ratios of Co/Ni and Cr/Ni.

**Keywords:** oil, deposits, Dnipro-Donetsk depression, cluster analysis, dendrogram, classification, V/Ni ratio, genesis.

### Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень і публікацій

Пильна увага до проблем накопичення і міграції металів у нафті пов'язана з актуальними науково-технічними питаннями генезису вуглеводнів, з можливістю їхнього промислового вилучення в процесі переробки нафти з метою подальшої реалізації як супутньої сировини, а також можливістю визначити екологічні ризики використання цієї нафти як сировини для виробництва нафтопродуктів, насамперед бензину та дизельного палива. Як відомо, метали в мікрокількостях входять до складу нафт з різних регіонів світу. Високий вміст металів, зокрема ванадію і нікелю, 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 структури каталізатора. Крім цього, неорганічні сполуки ванадію, що утворюються у ході переробки нафти, спричиняють поширення високотемпературної корозії на поверхні обладнання, зниження терміну служби турбореактивних, дизельних і котельних установок; газової корозії активних елементів газотурбінних двигунів і зростання екологічно шкідливих викидів у навколишнє середовище. Разом з тим метали, в тому числі рідкісні і рідкісноземельні, є цінними супутніми компонентами, вміст яких у нафті та залишках їх переробки може навіть перевищувати їхній вміст у рудних джерелах [21]. Однак в Україні промислове виробництво металів (зокрема, ванадію) з нафтової сировини досі не освоєно, хоча у світовій практиці нафтопереробки є технології, що дають змогу здійснювати супутнє видобування концентратів з високим вмістом різних металів. Так, за кордоном з нафтової сировини отримують приблизно 8 % від обсягу загальносвітового виробництва ванадію, а в окремих країнах ця цифра доходить до 20 % (США) [29]. Окрім того, присутність і вміст металів у нафті з різних родовищ дає змогу встановлювати закономірності їх міграції та концентрації у вуглеводневих системах. Серед них, зокрема, слід вказати особливо пріоритетні за промисловим та екологічним значенням – ванадій, ртуть, кобальт, нікель, залізо, марганець, алюміній, титан, хром та цинк.

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 у межах єдиного у геологічному сенсі утворення (нафтогазоносна пастка) та їх деякою варіативністю щодо вмісту металів у процесі видобування), 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 металонасиченість нафти, її поділяють на збагачену металами (> 10 ppm) та збіднену (< 1 ppm), а та-

кож з переважанням того чи іншого елемента. За вмістом ванадію, нікелю та заліза виділяють “ванадієвий” ( $V > Ni > Fe$ ), “залізистий” ( $Fe > V > Ni$ ), “нікелевий” ( $Ni > Fe > V$ ) типи [16].

Одну з перших із систематизацій нафти за загальними характеристиками вмісту металів надав А. J. G. Barwise 1990 року. Він розглянув хімічний склад, фізичні властивості та вміст металів у зразках нафти [24]. Пізніше Є. Ф. Шнюков із співавторами у 2007 р. опублікував дуже цікаву оглядову статтю про вміст ванадію та нікелю в природних нафтах світу [20]. В ній детально розглянуто концентрації присутності важких металів у нафтах у взаємозв'язку з їх генезисом. А. А. Суханов у 2008 р. надав сучасний стан оцінки запасів супутніх компонентів нафти (включно з важкими металами) як джерел високоякісної рідкіснометалевої сировини [18]. С. П. Якуцені у 2010 р. опублікував результати дослідження взаємозв'язку глибинної зональності вуглеводнів та збагаченості нафт важкими елементами-домішками [22]. У роботі вказано на наявність кореляційної залежності вмісту важких металів у нафтах з глибиною залягання нафтових покладів. Вже у 2014 р. О. V. Akroveti та S. A. Osakwe виконали аналіз вмісту важких металів у нафтопродуктах з родовищ Нігерії [23]. Авторами зазначено, що високий рівень вмісту важких металів у нафтах може становити серйозну екологічну загрозу. В Україні такі дослідження проводилися у 2013 р. стосовно високосірчаної нафти Прикарпатського прогину [19]. У вказаній 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, вміст сірки. Трохи пізніше J. O. Wilberforce провів дослідження вмісту важких металів у сирій нафті, що використовується у медицині [30]. У цій роботі рівень вмісту кадмію, нікелю, ванадію і свинцю було визначено за допомогою атомно-абсорбційної спектрофотометрії. За результатами дослідження було встановлено середню концентрацію металів із зазначенням впливу їх на організм людини. Раніше деякі особливості геохімії та розподілу металів у каустобіолітах з родовищ Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ) були розглянуті в серії робіт [4–9, 11, 12, 15, 25–28].

### Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми

Роботу присвячено результатам останніх досліджень стосовно особливостей розподілу і вмісту металів у нафтах з метою створення об'єктивної (природної) класифікації основних діючих 36 родовищ нафти найбільшого нафтогазоносного регіону України – ДДЗ за допомогою кластерного аналізу [1–3]. Варто зазначити, що подібні дослідження раніше не виконувалися, що визначає наукову новизну отриманих результатів. Virішення 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.

У роботі застосовані статистичні, інформаційні, геохімічні та аналітичні методи дослідження, що ґрунтуються на ши-

рокому охопленні великого фактичного матеріалу про вміст комплексу металів, які є в нафтах різних родовищ ДДЗ, а також встановленні законів розподілу вмісту металів у нафтах та лабораторних досліджень щодо розподілу металів у нафтах для коригування та доказовості результатів природних спостережень.

Мета цієї публікації – на основі геохімічних досліджень вмісту металів та їх кластерного аналізу розробити класифікацію родовищ нафти на прикладі ДДЗ, яку можна використовувати як критерій їх поділу на дві принципово різні групи: родовища, сформовані переважно нафтами біогенного походження, та родовища, що містять нафту суттєво абиогенної генерації.

#### Матеріали та методи досліджень

Фактологічною основою роботи були результати аналізів вмісту металів у нафтах з 36 родовищ: Бахмацького, Прилуцького, Краснозаярського, Качалівського, Кременівського, Карайкозівського, Коробочкинського, Куличинського, Липоводолинського, Монастирищенського, Матлахівського, Малосорочинського, Ново-Миколаївського, Перекопівського, Прокопенківського, Радченківського, Розпашнівського, Софіївського, Суходолівського, Солонцівського, Солохівського, Талалаївського, Тростянецького, Турутинського, Харківцівського, Шуринського, Юр'ївського, Ярошівського, Хухрянського, Сагайдацького № 1, Сагайдацького № 13, Кибицівського № 5, Кибицівського № 51, Кибицівського № 52, Кибицівського № 56, Кибицівського № 1. 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 ДДЗ.

Дослідження близько 30 зразків нафти з кожного родовища на вміст металів проведено за допомогою рентгенофлуоресцентного аналізу на енерго-дисперсійному спектрометрі “Спрут” СЕФ 01. Час накопичення спектра – 600 с. Аналітик – А.М. Єрофеев. Підготовку і проведення аналізу виконано 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.

Як відомо, процедура класифікації – це систематизація об'єктів за апріорно заданими ознаками. Об'єктивною причиною практичного значення класифікації є складні проблеми зберігання, пошуку, використання величезних архівів емпіричних даних. Виникає необхідність скоротити кількість цих даних і водночас не втратити занадто багато інформації, закладеної в них. Зазвичай для цього використовуються кластерний аналіз, таксономія, розпізнавання образів, факторний аналіз.

Однією з найефективніших процедур спрощення та мінімізації масиву даних, щоб полегшити його змістовну інтерпретацію, є кластеризація. На даний час процедури кластеризації широко застосовують в біології (для виділення просторових та тимчасових угруповань організмів в однорідних умовах, для угруповання подібних геномних послідовностей, для

значення генотипів тощо). Такі ж процедури використовують у медицині (для класифікації антибіотиків за типом антибактеріальної активності, для автоматичного виділення різних типів тканин на тривимірному зображенні у позитронно-емісійній томографії тощо), у маркетингу (для обробки даних різних опитувань, виділення типових груп покупців, поділу ринку для створення персоналізованих пропозицій тощо). Процедури кластеризації використовують у комп'ютерних науках (для визначення популяційних ніш, що утворилися в ході роботи еволюційних алгоритмів, у сегментації зображень для визначення меж та розпізнавання об'єктів тощо). Тим не менш, до цих пір у геологічних дослідженнях відомі лише поодинокі випадки вдалого застосування кластерного аналізу [1, 2, 10, 13], попри його виняткову простоту і візуальну наочність. Разом з тим кластерний аналіз не тільки набагато простіше і наочніше вирішує завдання систематизації об'єктів, але і має незаперечну перевагу – результат його застосування не пов'язаний з втратою навіть частини вихідної інформації про відмінності об'єктів або кореляції ознак.

Важливо, що, на відміну від інших методів, які використовують під час вирішення завдань класифікації, кластерний аналіз не вимагає апріорних припущень про набір даних, що не накладає обмеження на подання досліджуваних об'єктів, дає змогу аналізувати природні показники різних типів даних (інтервальних даних, частот, бінарних даних тощо). Застосування кластерного аналізу з метою класифікації має ряд переваг, оскільки уможливує виконати розбиття безлічі досліджуваних об'єктів і ознак на однорідні у відповідному розумінні групи або кластери, а також виявити внутрішню структуру (на різних ієрархічних рівнях) вибіркової сукупності. Водночас, як і будь-який інший метод, кластерний аналіз має певні недоліки. Зокрема, склад і кількість кластерів залежать від обраних критеріїв угруповання (“стратегії класифікації”), а застосування різних методів, що відповідають різним концептуальним підходам до виділення таксонів, до одних і тих же вибірок, може призвести до суттєво відмінних результатів [1, 2, 10, 13]. Отже, характерною особливістю кластерного аналізу, на відміну від інших методів багатовимірної статистики, є велика залежність одержуваних результатів від апріорних установок дослідника на змістовному рівні. У нашому випадку до апріорних установок відносяться: відсутність гіпотез щодо числа кластерів, їх структури та форми; досягнення максимальної візуалізації розбиття родовищ по класах на різних масштабних рівнях; використання методу (алгоритму) кластеризації для найстійкішого поділу всієї сукупності родовищ нафти, що розглядаються.

У кластерному аналізі вважається, що: а) вибрані характеристики допускають в принципі бажане розбиття на кластери; б) одиниці виміру (масштаб) обрані правильно.

Таким чином, вибір масштабу у процедурах класифікації відіграє значну роль. Для приведення до одного масштабу вихідні дані, як правило, тим чи іншим чином нормують. Так як вміст металів у нафтах родовищ, які розглядаються, досить рівномірно заповнюють весь інтервал значень, без суттєвих аномалій, що набагато перевищують типовий розкид, то нормування вихідних значень вмісту металів кожного із родовищ проведено за формулою:

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

де  $X_{i \text{ норм}}$  – одиничне нормоване значення вмісту металу в нафті;  $X_i$  – одиничне значення вмісту металу у нафті;  $X_{\text{max}}$  – максимальне значення вмісту металу у нафті;  $X_{\text{min}}$  – мінімальне значення вмісту металу у нафті.

У процесі досліджень для досягнення мети було здійснено кластеризацію родовищ нафти зваженим центроїдним методом, що реалізовано у професійних статистичних програмних платформах “STATISTICA” та “SPSS”, вибір якого було раніше обґрунтовано в [1, 2, 10]. Виконано аналіз результатів кластеризації, що дозволило у генетичному сенсі інтерпретувати отриману геохімічну інформацію.

У роботі використано версії програм *STATISTICA 13.3* та *IBM SPSS Statistics 22*.

#### Виклад основного матеріалу і результатів досліджень

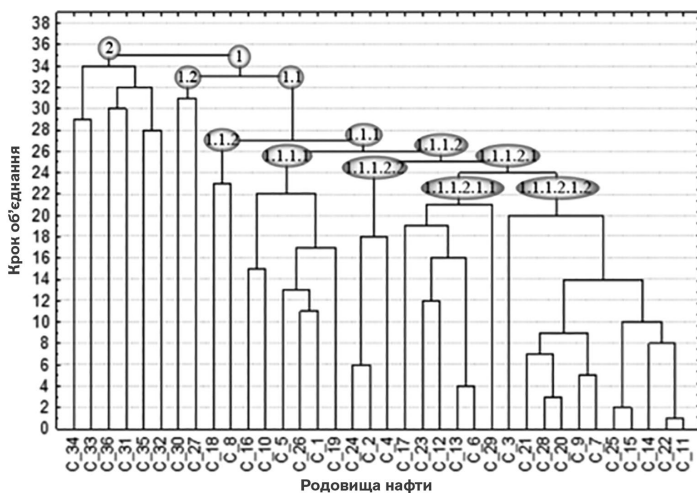
На дендрограмі кластеризації родовищ за вмістом алюмінію у нафті (рис. 1) достатньо впевнено можна виділити сім основних груп кластерів: 2, 1.2, 1.1.2, 1.1.1.1, 1.1.1.2.2, 1.1.1.2.1.1, 1.1.1.2.1.2. На якісному рівні, як і в інших аналогічних випадках, ми будемо умовно вважати, що вони послідовно відповідають: аномально низькому вмісту, низькому вмісту, вмісту нижче середнього, середньому вмісту, вмісту вище середнього, високому вмісту та аномально високому вмісту. Цей підхід було раніше обґрунтовано в [2]. Зазначимо, що умовність цього розподілу головним чином полягає у використанні терміна “середній вміст” для ідентифікації кластерів, що лише займають середнє положення на дендрограмі кластеризації за концентрацією розглянутих елементів.

Середній арифметичний вміст алюмінію у нафтах розглянутих родовищ Дніпровсько-Донецької нафтогазоносної області (ДДНГО) становить  $14,17 \pm 3,64$  ppm, медіанне

значення – 4,24 ppm. Оскільки за результатами тесту Шапіро-Вілка щільність розподілу цього показника відповідає логнормальному закону (як і для всіх інших металів), а не нормальному (гаусовому), ми будемо у цьому, як і в подальших аналогічних випадках, застосовувати для характеристики центральної тенденції у вибірці медіанне значення показників. Відзначимо, що у геохімічних поняттях фонові значення вмісту завжди менше їх середніх арифметичних значень у загальній вибірці, бо вони розраховуються як характеристики центральної тенденції у вибірці у ході вилучення з її об'єму аномально високих значень показників і в цьому сенсі приблизно відповідають медіанним значенням.

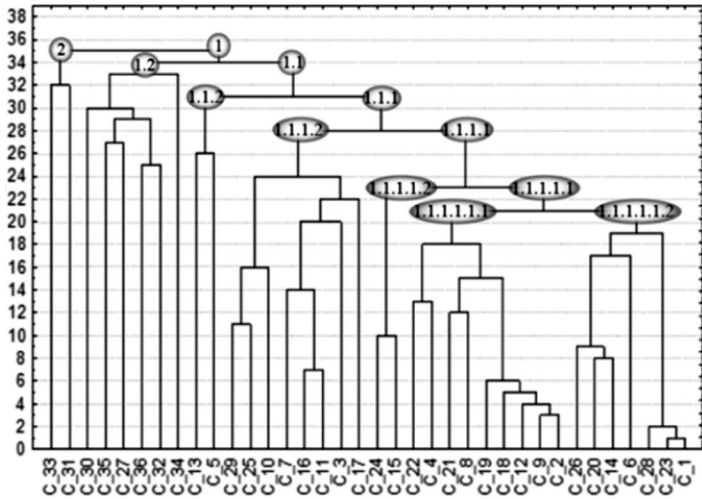
Аномально низький вміст алюмінію у нафтах пов'язаний з кластером 1.1.1.1, який представлений Радченківським, Монастирищенським, Кременівським, Бахмацьким, Щуринським та Суходолівським родовищами. Середнє значення вмісту алюмінію по кластеру дорівнює 1,38 ppm, за коливання середніх значень по родовищах від 0,76 ppm (Радченківське родовище) до 1,92 ppm (Суходолівське родовище). Кластер 1.1.1.2.1 сформований Хухрянським, Малосорочинським, Тростянецьким, Карайкозівським, Ново-Миколаївським, Розпашнівським родовищами 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 Коробочкинське, Липоводолинське, Солонцівське, Ярошівське, Солохівське, Прокопенківське, Західно-Харківцівське, Перекопівське, Талалаївське, Матлахівське та Краснозаярське родовища 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 Качалівського, Прилуцького та Турутинського родовищ, 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 Софіївське та Куличихинське родовища 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.

Аналіз дендрограми кластеризації родовищ за вмістом ртуті (рис. 2) дає змогу візуально виділити сім груп кластерів: 1.1.1.1.1.1, 1.1.1.1.1.2, 1.1.1.1.2, 1.1.1.2, 1.1.2, 1.2 і 2. Середній вміст ртуті у нафтах родовищ ДДЗ становить  $0,44 \pm 0,13$  ppm, медіанний дорівнює 0,097 ppm. Кластер 1.1.1.1.1.1 сформований Талалаївським, Качалівським, Солохівським, Куличихинським, Прилуцьким, Липоводолинським, Малосорочинським, Софіївським і Суходолівським родовищами з аномально низькими значеннями вмісту ртуті у нафтах від 0,0007 ppm (Талалаївське родовище) до 0,01 ppm (Суходолівське, Софіївське, Малосорочинське, Липоводолинське Прилуцьке родовища), за середнього вмісту по кластеру 0,007 ppm. Низькі значення вмісту від 0,02 ppm (Бахмацьке родовище) до 0,035 ppm (Щуринське родовище) у нафтах пов'язані з Бахмацьким, Тростянецьким, Ярошівським, Перекопівським, Солонцівським, Щуринським та Карайкозівським родовищами кластера 1.1.1.1.1.2, з середнім вмістом цього елемента



**Рис. 1. Дендрограма результатів кластеризації зваженим центроїдним методом родовищ за вмістом алюмінію у нафтах:**

1, 2, 1.1, 1.2, 2.1, 2.2, 2.3 – кластери; C<sub>1</sub> – Бахмацьке родовище, C<sub>2</sub> – Прилуцьке родовище, C<sub>3</sub> – Краснозаярське родовище, C<sub>4</sub> – Качалівське родовище, C<sub>5</sub> – Кременівське родовище, C<sub>6</sub> – Карайкозівське родовище, C<sub>7</sub> – Коробочкинське родовище, C<sub>8</sub> – Куличихинське родовище, C<sub>9</sub> – Липоводолинське родовище, C<sub>10</sub> – Монастирищенське родовище, C<sub>11</sub> – Матлахівське родовище, C<sub>12</sub> – Малосорочинське родовище, C<sub>13</sub> – Ново-Миколаївське родовище, C<sub>14</sub> – Перекопівське родовище, C<sub>15</sub> – Прокопенківське родовище, C<sub>16</sub> – Радченківське родовище, C<sub>17</sub> – Розпашнівське родовище, C<sub>18</sub> – Софіївське родовище, C<sub>19</sub> – Суходолівське родовище, C<sub>20</sub> – Солонцівське родовище, C<sub>21</sub> – Солохівське родовище, C<sub>22</sub> – Талалаївське родовище, C<sub>23</sub> – Тростянецьке родовище, C<sub>24</sub> – Турутинське родовище, C<sub>25</sub> – Харківцівське родовище, C<sub>26</sub> – Щуринське родовище, C<sub>27</sub> – Юр'ївське родовище, C<sub>28</sub> – Ярошівське родовище, C<sub>29</sub> – Хухрянське родовище, C<sub>30</sub> – Сагайдацьке № 1 родовище, C<sub>31</sub> – Сагайдацьке № 13 родовище, C<sub>32</sub> – Кибицівське № 5 родовище, C<sub>33</sub> – Кибицівське № 51 родовище, C<sub>34</sub> – Кибицівське № 52 родовище, C<sub>35</sub> – Кибицівське № 56 родовище, C<sub>36</sub> – Кибицівське № 1 родовище.

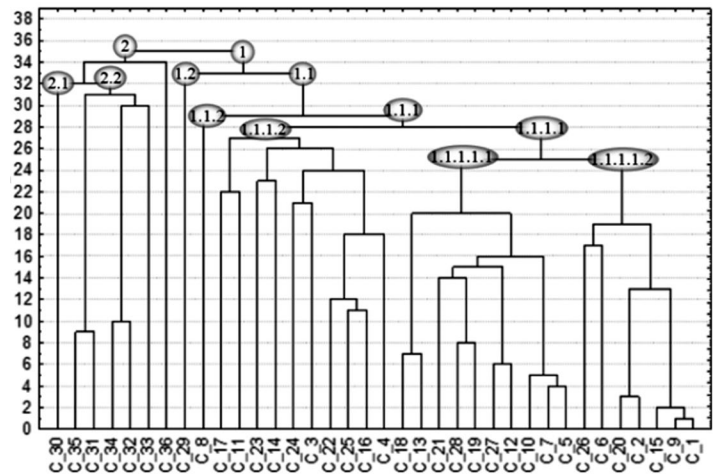


**Рис. 2.** Дендрограма результатів кластеризації зваженим центроїдним методом родовищ за вмістом ртуті у нафтах. Умовні позначення див. на рис. 1.

по кластеру 0,026 ppm. Кластер 1.1.1.1.2 складений Прокопенківським і Турутинським родовищами із вмістом нижче середнього 0,05 ppm. Кластер 1.1.1.2 представлений Розпашнівським, Краснозаярським, Матлахівським, Радченківським, Коробочкинським, Монастирищенським, Західно-Харківцівським та Хухрянським родовищами з вмістами ртуті у нафтах від 0,14 ppm (Розпашнівське родовище) до 0,2 (Західно-Харківцівське і Хухрянське родовища), із середнім значенням вмісту по кластеру 0,18 ppm. Кластер 1.1.2 представлений Кременівським та Ново-Миколаївським родовищами з відповідним вмістом ртуті у нафтах 0,323–0,39 ppm, із середніми концентраціями по кластеру вище середнього по загальній вибірці родовищ 0,36 ppm. Кластер 1.2 сформований родовищами Кибицівським № 52, Сагайдацьким № 1, Кибицівським № 56, Юр'ївським, Кибицівським № 5 і Кибицівським № 1, в яких вміст ртуті у нафтах коливається від 0,7 ppm (родовище Кибицівське № 52) до 1,4 ppm (родовище Кибицівське № 1) та загальним високим середнім вмістом по кластеру 1,14 ppm. Два родовища Сагайдацьке № 13 і Кибицівське № 51 з аномально високим вмістом ртуті у нафтах, відповідно від 3,0 ppm до 3,4 ppm, формують кластер 2 із середнім значенням 3,2 ppm.

Під час кластеризації родовищ ДДНГО за концентрацією хрому у нафтах (рис. 3) відмічено сім груп кластерів: 1.1.1.1.1, 1.1.1.1.2, 1.1.1.2, 1.1.2, 1.2, 2.1 і 2.2. Середній вміст хрому у нафтах родовищ, що розглядаються, становить  $2,04 \pm 0,61$  ppm, медіанне значення – 0,275 ppm.

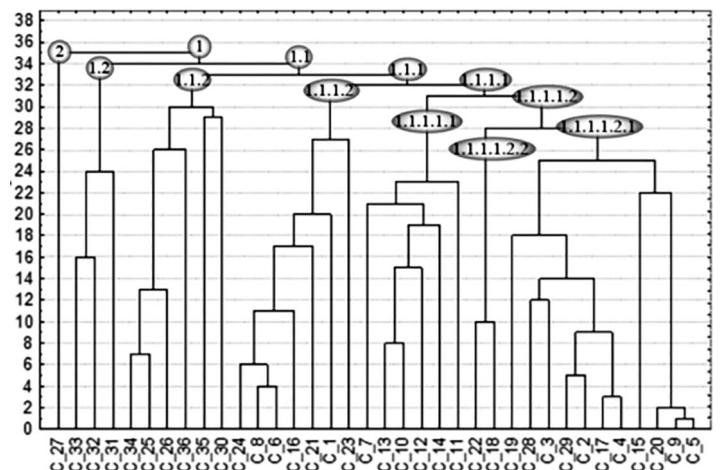
Кластер 1.1.1.1.1 сформований Кременівським, Коробочкинським, Монастирищенським, Солохівським, Суходолівським, Ярошівським, Малосорочинським, Юр'ївським, Ново-Миколаївським та Софіївським родовищами з аномально низькими показниками вмісту хрому у нафтах від 0,01 ppm (Кременівське, Коробочкинське і Монастирищенське родовища) до 0,06 ppm (Ново-Миколаївське та Софіївське родовища), за середнього вмісту 0,031 ppm. Низькі значення вмісту цього елемента у нафтах від 0,09 ppm (Карайкозівське родовище) до 0,14 ppm (Бахмацьке, Липоводолинське і Прокопенківське родовища) пов'язані з Карайкозівським, Щуринським, Прилуцьким, Солонцівським, Бахмацьким, Липоводолинським та Прокопенківським родовищами кластера 1.1.1.1.2, із середнім вмістом по кластеру 0,125 ppm. Кластер 1.1.1.2 складений Перекопівським, Тростянецьким,



**Рис. 3.** Дендрограма результатів кластеризації зваженим центроїдним методом родовищ за вмістом хрому у нафтах. Умовні позначення див. на рис. 1.

Західно-Харківцівським, Радченківським, Талалаївським, Качалівським, Краснозаярським, Турутинським, Матлахівським і Розпашнівським нафтовими родовищами із вмістом нижче середнього від 0,25 ppm (Перекопівське родовище) до 0,61 ppm (Розпашнівське родовище), із середнім вмістом по кластеру 0,423 ppm. Кластер 1.1.2 представлений тільки Куличихинським родовищем із середнім значенням концентрації хрому у нафті 0,93 ppm. Кластер 1.2 сформований також одним Хухрянським родовищем із вмістом вище середнього 3,9 ppm. Високий вміст хрому у нафтах мають родовища Сагайдацьке № 13, Кибицівське № 56, Кибицівське № 5, Кибицівське № 52, Кибицівське № 51 і Сагайдацьке № 1 кластера 2.1 із значеннями від 0,71 ppm (Сагайдацьке № 13 та Кибицівське № 56 родовища) до 10,2 ppm (Сагайдацьке № 1 родовище), за середньої концентрації по кластеру 8,33 ppm. Кластер 2.2 формує одне Кибицівське № 1 родовище з аномально високим вмістом 13,1 ppm.

Під час кластеризації родовищ ДДНГО за вмістом марганцю у нафтах (рис. 4) відзначено сім груп кластерів: 1.1.1.1.1, 1.1.1.1.2.1, 1.1.1.1.2.2, 1.1.1.2, 1.1.2, 1.2 і 2. Середній вміст марганцю у нафтах родовищ становить  $0,41 \pm 0,05$  ppm, медіанне значення – 0,3 ppm. Кластер 1.1.1.1.1 містять Матлахівське,



**Рис. 4.** Дендрограма результатів кластеризації зваженим центроїдним методом родовищ за вмістом марганцю у нафтах. Умовні позначення див. на рис. 1.



Турутинське родовища), за середнього значення 0,75 ppm. Кластер 1.1.1.2.2 складений Солохівським, Прокопенківським, Софіївським, Шуринським та Бахмацьким родовищами із значеннями нижче середнього від 0,94 ppm (Солохівське родовище) до 1,16 ppm (Бахмацьке родовище), середнє значення цього показника по кластеру 1,07 ppm. Середні концентрації пов'язані з кластером 1.1.2, який вміщує Талалаївське, Радченківське, Хухрянське, Качалівське і Прилуцьке родовища із значеннями від 1,4 ppm (Талалаївське родовище) до 1,8 ppm (Прилуцьке родовище), за середнього значення цього показника по кластеру 1,56 ppm. Кластер 1.2.1 сформований Солонцівським, Матлахівським, Кибицівським № 51 та Кибицівським № 5 родовищами із значеннями вище середнього від 2,34 ppm (Солонцівське родовище) до 2,9 ppm (родовище Кибицівське № 5), за середнього вмісту по кластеру 2,565 ppm. Кластер 1.2.2 представлений Краснозаярським, Кибицівським № 56, Сагайдацьким № 1 і Кибицівським № 1 родовищами з високими концентраціями цинку у нафтах від 3,29 ppm (Краснозаярське родовище) до 3,5 ppm (родовище Кибицівське № 1), середній вміст по кластеру дорівнює 3,373 ppm. Аномально високий вміст представлений трьома родовищами Кибицівським № 52, Сагайдацьким № 13 та Розпашнівським кластера 2 із вмістом 4,8–5,6 ppm (відповідно Кибицівське № 52 і Розпашнівське родовища), за середнього значення цього показника по кластеру 5,2 ppm.

При кластеризації родовищ ДДНГО за вмістом кобальту у нафтах (рис. 7) виділено сім кластерів: 1.1.1.1.1, 1.1.1.1.2, 1.1.1.2, 1.2, 2.1 та 2.2. Середній вміст кобальту в родовищах, що розглядаються, становить  $0,38 \pm 0,13$  ppm, медіанне значення – 0,02 ppm.

Кластер 1.1.1.1.1 сформований Карайкозівським, Коробочкинським, Хухрянським, Солонцівським, Липоводолинським, Ярошівським, Кременівським, Ново-Миколаївським, Софіївським, Юр'ївським, Солохівським і Шуринським родовищами з аномально низьким вмістом кобальту 0,001 ppm (Карайкозівське родовище) – 0,007 ppm (Шуринське родовище), за середньої концентрації елемента по кластеру 0,004 ppm. Кластери 1.1.1.1.2 об'єднує Тростянецьке, Монастирищенське, Радченківське та Західно-Харківцівське родовища з низькими значеннями вмісту 0,09 ppm (Тростянецьке родовище) – 0,01 ppm (Монастирищенське, Радченківське і Західно-Харківцівське родовища), за середнього вмісту у кластері

0,0975 ppm. Кластер 1.1.1.2 представлений Матлахівським, Прокопенківським, Талалаївським, Перекопівським, Краснозаярським, Розпашнівським і Суходолівським родовищами із концентраціями нижче середніх 0,02 ppm (Матлахівське, Прокопенківське і Талалаївське родовища) – 0,04 ppm (Суходолівське родовище), за середньої концентрації елемента у нафтах родовищ кластера 0,026 ppm. Середні концентрації формують кластер 1.1.2, який об'єднує Качалівське, Бахмацьке, Прилуцьке, Турутинське, Малосорочинське родовища із значеннями кобальту від 0,0571 ppm (Качалівське родовище) до 0,0889 ppm. Кластер 1.2 сформований одним Куличихинським родовищем із значеннями вище середнього 0,1614 ppm. Високий вміст мають Кибицівське № 56, Сагайдацьке № 13, Сагайдацьке № 1, Кибицівське № 52, Кибицівське № 5 і Кибицівське № 1 родовища кластера 2.1 із значеннями 1,2 ppm (родовище Кибицівське № 56) – 2,3 ppm (родовище Кибицівське № 1), при середньому вмісті у кластері 1,7 ppm. Аномально високий вміст кобальту представлений родовищем Кибицівським № 51 кластера 2.2 із вмістом цього елемента у нафті 2,8 ppm.

Аналіз дендрограми кластеризації родовищ ДДНГО за вмістом нікелю (рис. 8) свідчить про наявність семи кластерів: 1.1.1.1, 1.1.1.2.1, 1.1.1.2.2, 1.1.2.1, 1.1.2.2, 1.2, 2. Середній вміст нікелю у нафтах родовищ становить  $6,88 \pm 1,66$  ppm, медіанне значення – 2,91 ppm. Кластер 1.1.1.1 сформований Качалівським, Куличихинським, Перекопівським, Шуринським, Ярошівським, Коробочкинським, Сагайдацьким № 1, Західно-Харківцівським, Тростянецьким, Солохівським, Кременівським, Солонцівським і Софіївським родовищами з аномально низькими значеннями вмісту нікелю 0,35 ppm (Качалівське родовище) – 1,57 ppm (Софіївське родовище). Низький вміст пов'язаний з Краснозаярським, Сагайдацьким № 13, Радченківським, Малосорочинським, Талалаївським, Ново-Миколаївським, Матлахівським та Турутинським родовищами кластера 1.1.1.2.1 із значеннями від 2,17 ppm (Краснозаярське родовище) до 3,06 ppm. Кластер 1.1.1.2.2 представлений Карайкозівським, Юр'ївським і Липоводолинським родовищами із вмістом нижче середнього 4,07 ppm (Карайкозівське родовище) – 4,25 ppm (Липоводолинське родовище). Середній вміст мають Кибицівське № 5, Кибицівське № 52 та Монастирищенське родовища кластера 1.1.2.1 із значеннями 6,4 ppm (родовище Кибицівське № 5) – 6,61 ppm

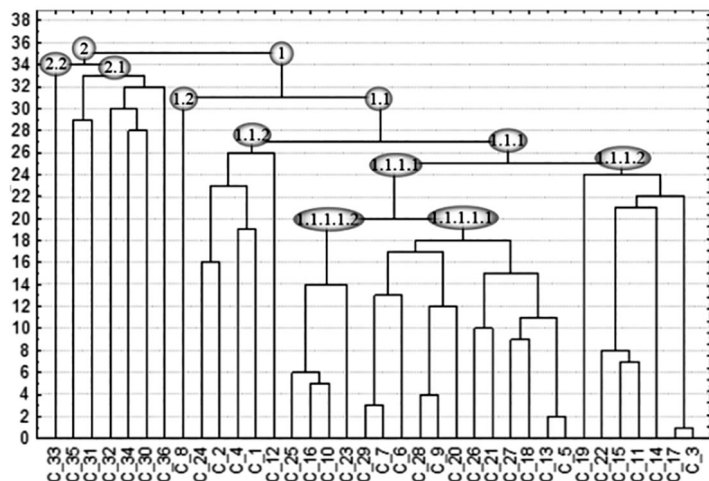


Рис. 7. Дендрограма результатів кластеризації зваженим центроїдним методом родовищ за вмістом кобальту у нафтах. Умовні позначення див. на рис. 1.

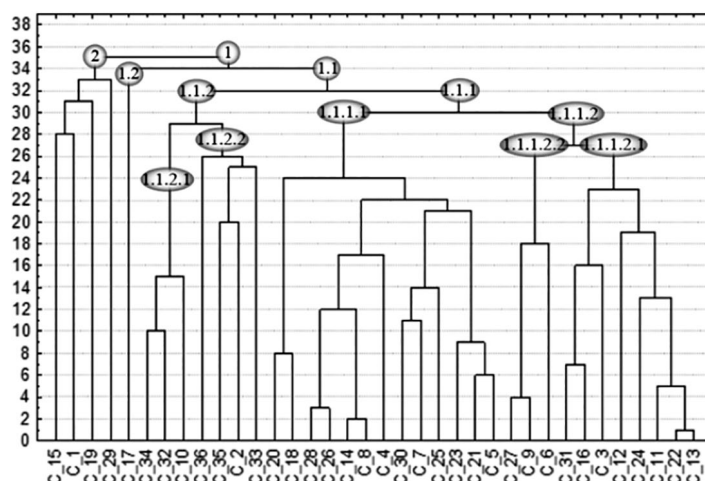


Рис. 8. Дендрограма результатів кластеризації зваженим центроїдним методом родовищ за вмістом нікелю у нафтах. Умовні позначення див. на рис. 1.

(Монастирищенське родовище). Вміст вище середнього пов'язаний із Прилуцьким, Кибицівським № 56, Кибицівським № 51 і Кибицівським № 1 родовищами кластера 1.1.2.2 із концентрацією 777 ppm (Прилуцьке родовище) – 9,5 ppm (родовище Кибицівське № 1). Кластер 1.2 представлений тільки Розпашнівським родовищем з високим значенням 176 ppm. Аномально високий вміст нікелю мають Суходолівське, Прокопенківське, Бахмацьке та Хухрянське родовища кластера 2 із значеннями вмісту від 29,1 ppm (Суходолівське родовище) до 38,1 ppm (Хухрянське родовище).

На дендрограмі кластеризації вугільних пластів за вмістом ванадію (рис. 9) можна виділити сім кластерів: 1.1.1.1, 1.1.1.2, 1.1.2, 1.2, 2.1.1, 2.1.2 і 2.2. Середній вміст ванадію у нафтах розглянутих родовищ ДДНГО становить  $5,65 \pm 1,47$  ppm, медіанному значенню відповідає концентрація 1,01 ppm. Кластер 1.1.1.1 сформований Карайкозівським, Коробочкинським, Західно-Харківцівським, Качалівським, Суходолівським, Липоводолинським, Ново-Миколаївським, Тростянецьким, Краснозаярським, Перекопівським, Шуринським, Солонцівським та Монастирищенським родовищами з аномально низьким вмістом ванадію від 0,02 ppm (Карайкозівське, Коробочкинське і Західно-Харківцівське родовища) до 0,17 ppm (Монастирищенське родовище), за середнього значення цього показника 0,08 ppm. Кластер 1.1.1.2 об'єднує Куличихинське, Турутинське, Бахмацьке, Софіївське та Кременівське родовища з низьким вмістом 0,32 ppm (Куличихинське родовище) – 0,82 ppm (Кременівське родовище), за середнього значення 0,56 ppm. Кластер 1.1.2 представлений Матлахівським, Ярошівським, Радченківським, Прилуцьким, Розпашнівським, Солохівським і Малосорочинським родовищами з концентрацією нижче середнього 1,2 ppm (Матлахівське родовище) – 2,17 ppm (Малосорочинське родовище), середній вміст по кластеру дорівнює 1,64 ppm. Середній вміст має Хухрянське родовище кластера 1,2 із значенням 3,8 ppm. Кластер 2.1.1 сформований Юр'ївським, Талалаївським та Прокопенківським родовищами із значеннями вище середнього від 9,5 ppm (Юр'ївське родовище) до 13,2 ppm (Прокопенківське родовище), за середньої концентрації по кластеру 11,63 ppm. Високий вміст мають родовища Кибицівське № 5, Сагайдацьке № 1, Кибицівське № 52 і Кибицівське № 56 кластера 2.1.2 із значеннями 16,0 ppm (родовище Кибицівське № 5) – 18,0 ppm (родовище Кибицівське № 56), середнє значення по кластеру

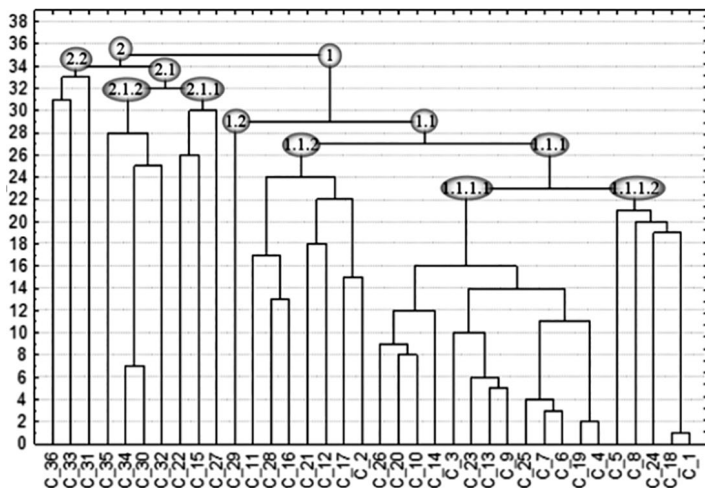


Рис. 9. Дендрограма результатів кластеризації зваженим центроїдним методом родовищ за вмістом ванадію у нафтах. Умовні позначення див. на рис. 1.

відповідає 170 ppm. Кластер 2.2 представлений родовищами Сагайдацьким № 13, Кибицівським № 1 та Кибицівським № 51 з аномально високим вмістом ванадію від 23,0 ppm (родовище Сагайдацьке № 13) до 31,0 ppm (родовище Кибицівське № 51), за середнього значення по кластеру 27,33 ppm.

Під час кластеризації родовищ ДДНГО за загальним вмістом розглянутих металів у нафтах (рис. 10) відмічено сім кластерів: 1.1.1.1, 1.1.1.2, 1.1.2.1.1, 1.1.2.1.2, 1.1.2.2, 1.2, 2. Середній загальний вміст металів у досліджених нафтових родовищах становить  $52,59 \pm 7,49$  ppm, медіанне значення цього показника дорівнює 45,54 ppm. Кластер 1.1.1.1 об'єднує Кременівське, Шуринське, Малосорочинське, Тростянецьке, Перекопівське, Софіївське, Липоводолинське та Солохівське родовища з аномально низьким загальним вмістом металів від 5,9 ppm (Кременівське родовище) до 14,97 ppm (Солохівське родовище), за середньої концентрації за кластером 10,79 ppm. Кластер 1.1.1.2 сформований Прилуцьким, Карайкозівським, Куличихинським та Турутинським родовищами з низьким значенням вмісту від 22,43 ppm (Прилуцьке родовище) до 30,0 ppm (Турутинське родовище), за середнього значення цього показника по кластеру 27,15 ppm. Кластер 1.1.2.1.1 представлений єдиним Солонцівським родовищем із значеннями нижче середніх 37,78 ppm. Середній вміст мають родовища Бахмацьке, Качалівське, Коробочкинське, Монастирищенське, Ново-Миколаївське, Радченківське, Юр'ївське, Суходолівське, Талалаївське, Ярошівське, Сагайдацьке № 13, Хухрянське і Кибицівське № 52 кластера 1.1.2.1.2 із значеннями 41,04 ppm (Бахмацьке родовище) – 52,04 ppm (родовище Кибицівське № 52), за середнього вмісту по кластеру 46,94 ppm. Кластер 1.1.2.2 складений тільки Прокопенківським родовищем із концентраціями вище середнього 60,24 ppm. Високий загальний вміст металів мають нафти родовищ Сагайдацького № 1, Розпашнівського, Кибицівського № 5, Кибицівського № 56, Матлахівського та Кибицівського № 1 кластера 1.2 із значеннями 71,73 ppm (родовище Сагайдацьке № 1) – 108,2 ppm (родовище Кибицівське № 1), при середньому вмісті по кластеру 93,49 ppm. Аномально високий загальний вміст металів у нафтах представлений родовищами Кибицівське № 51 і Краснозаярське кластера 2 із значеннями концентрації відповідно 148,33 – 233,96 ppm, за середнього показника за кластером 191,15 ppm.

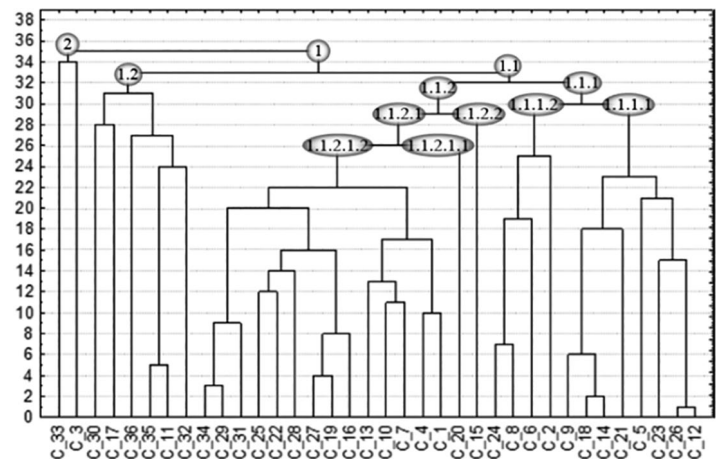


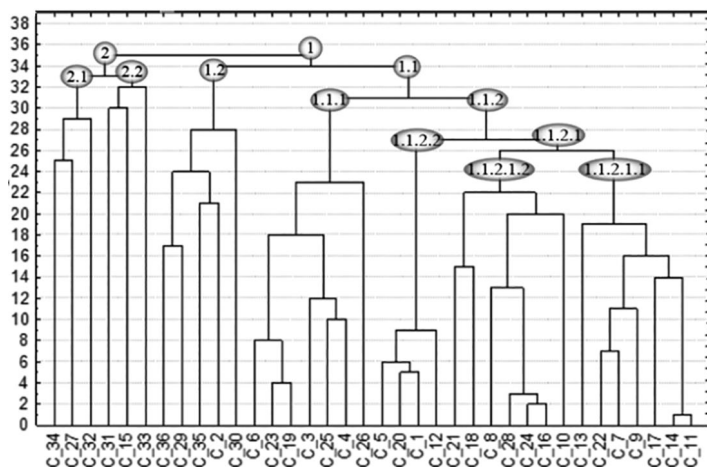
Рис. 10. Дендрограма результатів кластеризації зваженим центроїдним методом родовищ за загальним вмістом розглянутих металів у нафтах.

Умовні позначення див. на рис. 1.

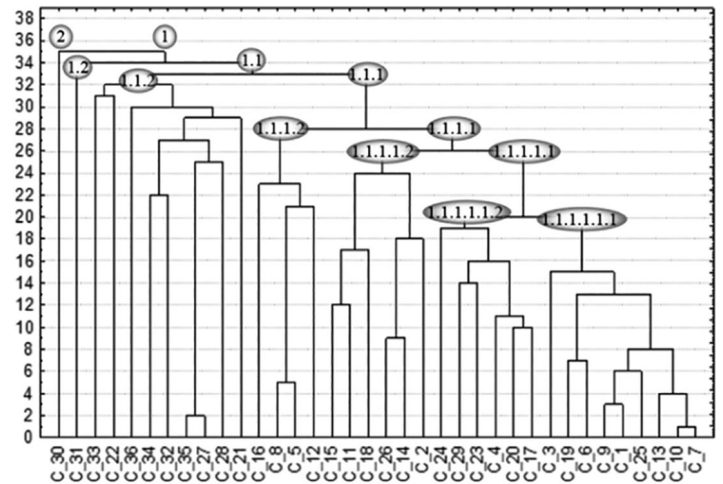


Дендрограма кластеризації родовищ за вмістом сірки у нафтах (рис. 11) містить сім основних кластерів: 1.1.1, 1.1.2.1.1, 1.1.2.1.2, 1.1.2.2, 1.2, 2.1 та 2.2. Середня сірчистість нафт розглянутих родовищ становить  $0,206 \pm 0,36$  ppm, медіанне значення – 0,113 ppm. Кластер 1.1.1 представлений Щуринським, Краснозаярським, Західно-Харківцівським, Качалівським, Суходолівським, Тростянецьким і Карайкозівським родовищами з аномально низьким значенням вмісту сірки від 0,006 ppm (Щуринське родовище) до 0,032 ppm (Карайкозівське родовище), за середнього значення по кластеру 0,022 ppm. Кластер 1.1.2.1.1 об'єднує Ново-Миколаївське, Розпашнівське, Матлахівське, Перекопівське, Талалаївське, Коробочкинське та Липоводолінське родовища з низькими значеннями сірчистості нафт від 0,073 ppm (Ново-Миколаївське родовище) до 0,094 ppm (Липоводолінське родовище), за середнього значення 0,084 ppm. Кластер 1.1.2.1.2 об'єднує Монастирищенське, Радченківське, Турутинське, Ярошівське, Куличихинське, Солохівське і Софіївське родовища із вмістом сірки у нафтах нижче середнього від 0,1 ppm (Монастирищенське родовище) до 0,13 ppm (Софіївське родовище), за середньої концентрації 0,114 ppm. Середню сірчистість мають Малосорочинське, Кременівське, Бахмацьке та Солонцівське родовища кластера 1.1.2.2 із значеннями 0,151 ppm (Малосорочинське родовище) – 0,155 ppm (Солонцівське родовище), за середнього значення 0,153 ppm. Кластер 1.2 представлений родовищами Сагайдацьким № 1, Кибицівським № 56, Прилуцьким, Хухрянським і Кибицівським № 1 із вмістом вище середнього від 0,237 ppm (родовище Сагайдацьке № 1) до 0,31 ppm (родовище Кибицівське № 1), при середньому вмісті сірки 0,283 ppm. Високу сірчистість нафт мають родовища Кибицівське № 52, Юр'ївське та Кибицівське № 5 кластера 2.1 із значеннями цього показника від 0,52 ppm (родовище Кибицівське № 52) до 0,59 ppm (родовище Кибицівське № 5), середнє значення по кластеру дорівнює 0,55 ppm. Родовища Кибицівське № 51, Сагайдацьке № 13 і Прокопенківське кластера 2.2 характеризуються аномально високим значенням вмісту сірки у нафтах від 0,67 ppm (родовище Кибицівське № 51) до 0,8 ppm (Прокопенківське родовище), за середнього вмісту 0,74 ppm.

Аналізуючи дендрограму кластеризації родовищ ДДН-ГО за співвідношенням вмісту ванадію до нікелю у нафтах (рис. 12), можна виділити сім кластерів: 1.1.1.1.1.1, 1.1.1.1.1.2, 1.1.1.1.2, 1.1.2, 1.2, 2.1 та 2.2. Середнє значення співвідношення V/Ni у нафтах досліджуваних родовищ становить  $1,66 \pm 0,61$ , медіанне значення дорівнює 0,321. Кластер 1.1.1.1.1.1 представлений Суходолівським, Карайкозівським, Липоводолінським, Бахмацьким, Західно-Харківцівським, Ново-Миколаївським, Монастирищенським, Коробочкинським та Краснозаярським родовищами з аномально низьким значенням цього показника від 0,001375 (Суходолівське родовище) до 0,041475 (Краснозаярське родовище), за середнього значення у кластері 0,01732. Низькі значення 0,6422–0,150559 пов'язані з Тростянецьким, Хухрянським, Розпашнівським, Солонцівським, Качалівським і Турутинським родовищами кластера 1.1.1.1.1.2. Кластер 1.1.1.1.2 об'єднує Прилуцьке, Щуринське, Перекопівське, Софіївське, Матлахівське і Прокопенківське нафтові родовища із значеннями вмісту співвідношення V/Ni нижче середнього 0,216164 (Прилуцьке родовище) – 0,420382 (Прокопенківське родовище), середнє значення співвідношення по всіх родовищах кластера – 0,323288. Кластер 1.1.1.2 сформований Радченківським, Куличихинським, Кременівським та Малосорочинським родовищами з середніми значеннями співвідношення V/Ni в межах від 0,561181 (Радченківське родовище) до 0,797794 (Малосорочинське родовище), середнє значення показника у нафтах родовищ кластера – 0,68079. Кластер 1.1.2 об'єднує родовища Солохівське, Ярошівське, Кибицівське № 56, Юр'ївське, Кибицівське № 5, Кибицівське № 52, Кибицівське № 1, Кибицівське № 51 і Талалаївське із значеннями вище середнього 1,774064 (Солохівське родовище) – 4,206897 (Талалаївське родовище), за середнього значення співвідношення V/Ni по кластеру 2,694036. Високе значення співвідношення цих елементів – 10, характерно тільки для нафти родовища Сагайдацьке № 13 кластера 1.2. У нафті родовища Сагайдацьке № 1 кластера 2 співвідношення V/Ni досягає максимального рівня – 20.



**Рис. 11.** Дендрограма результатів кластеризації зваженим центроїдним методом родовищ за вмістом сірки у нафтах. Умовні позначення див. на рис. 1.



**Рис. 12.** Дендрограма результатів кластеризації зваженим центроїдним методом родовищ за співвідношенням V/Ni у нафтах. Умовні позначення див. на рис. 1.

1.1.1.1.1.2, 1.1.1.1.2, 1.1.1.2, 1.1.2, 1.2, 2.1 та 2.2. Середнє значення співвідношення V/Ni у нафтах досліджуваних родовищ становить  $1,66 \pm 0,61$ , медіанне значення дорівнює 0,321. Кластер 1.1.1.1.1.1 представлений Суходолівським, Карайкозівським, Липоводолінським, Бахмацьким, Західно-Харківцівським, Ново-Миколаївським, Монастирищенським, Коробочкинським та Краснозаярським родовищами з аномально низьким значенням цього показника від 0,001375 (Суходолівське родовище) до 0,041475 (Краснозаярське родовище), за середнього значення у кластері 0,01732. Низькі значення 0,6422–0,150559 пов'язані з Тростянецьким, Хухрянським, Розпашнівським, Солонцівським, Качалівським і Турутинським родовищами кластера 1.1.1.1.1.2. Кластер 1.1.1.1.2 об'єднує Прилуцьке, Щуринське, Перекопівське, Софіївське, Матлахівське і Прокопенківське нафтові родовища із значеннями вмісту співвідношення V/Ni нижче середнього 0,216164 (Прилуцьке родовище) – 0,420382 (Прокопенківське родовище), середнє значення співвідношення по всіх родовищах кластера – 0,323288. Кластер 1.1.1.2 сформований Радченківським, Куличихинським, Кременівським та Малосорочинським родовищами з середніми значеннями співвідношення V/Ni в межах від 0,561181 (Радченківське родовище) до 0,797794 (Малосорочинське родовище), середнє значення показника у нафтах родовищ кластера – 0,68079. Кластер 1.1.2 об'єднує родовища Солохівське, Ярошівське, Кибицівське № 56, Юр'ївське, Кибицівське № 5, Кибицівське № 52, Кибицівське № 1, Кибицівське № 51 і Талалаївське із значеннями вище середнього 1,774064 (Солохівське родовище) – 4,206897 (Талалаївське родовище), за середнього значення співвідношення V/Ni по кластеру 2,694036. Високе значення співвідношення цих елементів – 10, характерно тільки для нафти родовища Сагайдацьке № 13 кластера 1.2. У нафті родовища Сагайдацьке № 1 кластера 2 співвідношення V/Ni досягає максимального рівня – 20.

У роботі [3] висловлюється думка, що присутність у нафтах таких “абіогенних елементів”, як алюміній і ртуть, свідчить про участь у нафтогенезі глибинних флюїдів. М. А. Лур'є і Ф. К. Шмідт [14] на великому фактичному матеріалі переконливо аргументують вплив глибинних газозов'язаних потоків мантії походження на вміст сірки в нафтах. Є. Ф. Шнюков із співавторами [20] 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 спорідненості природних нафт, тобто їхнє походження лише з одного й того самого джерела. Водночас автори [20] 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.” [20]. Отже, є всі підстави інтерпретувати та оцінювати інформативність результатів виконаних кластерних аналізів по кожному із родовищ, принаймні у генетичних поняттях.

### Висновки

Аналіз результатів проведених досліджень дозволяє стверджувати таке:

1. Встановлено, що за співвідношенням V/Ni, згідно з висновками у роботі [20], нафти всіх розглянутих родовищ поділяються на три генетично споріднені групи. До першої групи (співвідношення V/Ni  $< 0,1$ ) відносяться нафти Суходолівського, Карайкозівського, Липоводолинського, Бахмацького, Західно-Харківцівського, Ново-Миколаївського, Монастирищенського, Коробочкинського, Краснозаярського, Тростянецького, Хухрянського і Розпашнівського родовищ (кластер 1.1.1.1.1 та частково кластер 1.1.1.1.2). Другій групі (співвідношення у нафтах V/Ni  $0,1 - 1,0$ ) відповідають Солонцівське, Качалівське, Турутинське, Прилуцьке, Щуринське, Перекопівське, Софіївське, Матлахівське, Прокопенківське, Радченківське, Куличихинське, Кременівське і Малосорочинське родовища (частково кластер 1.1.1.1.2, повністю кластери 1.1.1.1.2 та 1.1.1.2). Третя група (співвідношення V/Ni  $> 1,0$ ) – це Солохівське, Ярошівське, Кибицівське № 56, Юр’ївське, Кибицівське № 5, Кибицівське № 52, Кибицівське № 1, Кибицівське № 51, Талалаївське, Сагайдацьке № 13 і Сагайдацьке № 1 родовища, які формують кластери 1.1.2, 1.2 та 2 (див. рис. 12). Деяке перекриття між родовищами першої та другої груп у кластері 1.1.1.1.2, на нашу думку, свідчить про можливість гібридизації цих нафт під час їх міграції з нафтоматеринських джерел.

2. Отже, за співвідношенням V/Ni, згідно [20], у генезі нафти Солохівського, Ярошівського, Кибицівського № 56, Юр’ївського, Кибицівського № 5, Кибицівського № 52, Кибицівського № 1, Кибицівського № 51, Талалаївського, Сагайдацького № 13 та Сагайдацького № 1 родовищ однозначно задіяні осередки глибинного, небіотичного нафтогазоутворення.

3. Доведено, що за вмістом таких “абіогенних елементів” [17], як алюміній і ртуть, до кластерів з високим та аномально високим вмістом цих металів (в обох випадках це кластери 2, 1.2 (див. рис. 1, 2)) входять одні й ті ж родовища – Юр’ївське, Кибицівське № 1, Сагайдацьке № 13, Кибицівське № 5, Кибицівське № 56, Кибицівське № 52, Кибицівське № 51 і Сагайдацьке № 1. Відповідно до цих критеріїв перелічені родовища формувалися з нафт абіотичних джерел. Звернімо увагу, що Солохівське, Талалаївське та Ярошівське родовища, які за першим критерієм [20] також містять нафти абіотичного походження, до цього переліку не входять. На нашу думку, це свідчить, що високий та аномально високий вміст цих елементів є більш жорстким критерієм для генетичної інтерпретації геохімічної інформації з метою визначення походження нафти, який, можливо, пов’язаний з регіональними

особливостями загального геолого-геохімічного розвитку району досліджень.

4. Встановлено, що за вмістом сірки, згідно з уявленнями, що розвиваються в роботі [10], до родовищ, які сформовані нафтами суттєво абіогенного генезу (кластери з родовищами, де у нафтах вміст сірки відповідає високим (кластер 2.1) та аномально високим значенням (кластер 2.2)), відносяться тільки Кибицівське № 52, Юр’ївське, Кибицівське № 5, Кибицівське № 51, Сагайдацьке № 13 та Прокопенківське родовища (див. рис. 11). Однак, якщо враховувати ще групу родовищ, сірчистість нафти з яких відповідає значенням вище середнього (кластер 1.2), до цього списку можна додати і родовища Сагайдацьке № 1, Кибицівське № 56, Прилуцьке, Хухрянське та Кибицівське № 1.

5. Обґрунтовано, що порівняльний аналіз результатів кластеризації розглянутих родовищ за вмістом у нафтах таких “абіогенних елементів”, як ртуть та алюміній [25], за результатами їх кластеризації за концентраціями хрому, кобальту і ванадію показує, що сукупність родовищ, які відносяться до кластерів з високим і аномально високим вмістом хрому, кобальту і ванадію (відповідно, кластери 2.1, 2.2 (див. рис. 3); 2.1, 2.2 (див. рис. 7); 2.1.2 і 2.2 (див. рис. 9)), відрізняється від переліку родовищ з високими та аномально високими концентраціями ртуті та алюмінію тільки відсутністю Юр’ївського родовища, а між собою повністю збігаються. Отже, високий та аномально високий вміст у нафтах досліджених родовищ, виходячи з логіки, викладеної в [3], можна використовувати як найсуворіший критерій їх поділу на дві принципово різні групи: родовища, сформовані переважно нафтами біогенного походження, та родовища, що містять нафту суттєво абіогенної генерації. У цьому плані, на наш погляд, згідно з встановленими у [20] закономірностями, є сенс розглядати як критерій виділення родовищ з нафтою суттєво абіогенного походження, крім концентрацій хрому, кобальту і ванадію, ще й співвідношення Cr/Ni та Co/Ni.

6. Враховуючи, що концентрація металів у складі нафти з родовищ ДДЗ є геохімічним індикатором їх загального онтогенезу, такі проаналізовані фактори, як загальний вміст металів та вміст нікелю, заліза, цинку і марганцю, потребують подальшого розгляду та інтерпретації у генетичних поняттях.

7. Порівнюючи перелік родовищ, які можуть бути віднесені до сформованих нафтою абіогенного походження за критеріями, вказаними у [14, 17 та 20], можна зазначити їхні суттєві відмінності. На нашу думку, це, можливо, пов’язано із загальними критеріями їх встановлення. Ці всі критерії були визначені на підставі результатів аналізів, виконаних на різних приладах, за різною методикою, у різні часи, різними дослідниками. У цьому сенсі наші дослідження мають певну перевагу.

Основне наукове значення отриманих результатів полягає у розробці природних класифікацій родовищ нафти ДДЗ за результатами кластерного аналізу вмісту металів, сірки і співвідношення V/Ni; обґрунтуванні п’яти нових геохімічних критеріїв для поділу родовищ, сформованих нафтами, що генеровані переважно абіогенними або біогенними процесами.

Основна практична цінність виконаних досліджень полягає у встановленні концентрацій та можливості прогнозування вмісту металів у нафтах досліджуваних родовищ, що, у свою чергу, надає можливість вирішення таких актуальних завдань практичного спрямування:

– низки промислово-сировинних питань, які базуються на оцінці металоносності нафт як рудної сировини, оскільки вміст деяких елементів у них іноді перевищує рудні концен-

трації, тому існує можливість їхнього супутнього промислово-вилучення з побічних продуктів під час процесів переробки;

– технологічних питань, що обумовлені негативним впливом деяких елементів, які містяться в нафтах, на використовуване обладнання у ході їх видобування та переробки;

– екологічних проблем, що пов'язані з утворенням у процесі переробки і, меншою мірою, під час видобування нафти високих концентрацій сполук потенційно токсичних металів, наприклад, алюмінію, ртуті та ін., що становлять загрозу навколишньому середовищу.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. 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. 4–5 листоп. 2021 р. – Дніпро: НТУ “Дніпровська політехніка”, 2021а. – С. 177–185.

2. Єрофеев А. М., Ішков В. В., Козій Є. С., Барташевський С. Є. Дослідження методів кластеризації родовищ нафти Дніпровсько-Донецької западини з метою створення їх класифікації за вмістом металів (на прикладі V) // Наук. пр. Дон. нац. техн. ун-ту. Сер. Гірн.-геол. – 2021б. – № 1(25)–2(26). – С. 83–93. [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)

3. Єрофеев А. М., Ішков В. В., Козій Є. С., Барташевський С. Є. Геохімічні особливості нікелю у нафтах родовищ Дніпровсько-Донецької западини // Зб. наук. пр. “Геотехнічна механіка”. – 2021в. – № 160. – С. 17–30.

4. Ішков В. В., Козій Є. С. Деякі особливості розподілу берилію у вугільному пласті  $k_5$  шахти “Капітальна” Красноармійського геолого-промислового району Донбасу // Вісн. Одеськ. нац. ун-ту. Сер. Географ. та геол. науки. – 2020. – Т. 25, № 1 (36). – С. 214–227. [https://doi.org/10.18524/2303-9914.2020.1\(36\).205180](https://doi.org/10.18524/2303-9914.2020.1(36).205180)

5. Ішков В. В., Козій Є. С. Про розподіл токсичних і потенційно токсичних елементів у вугіллі пласта  $c_7^u$  шахти “Павлоградська” Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району // Вісн. Київ. нац. ун-ту. Геологія. – 2017а. – № 79 (4). – С. 59–66. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.79.09>

6. Ішков В. В., Козій Є. С. Про розподіл токсичних і потенційно токсичних елементів у вугіллі пласта  $c_{10}^u$  шахти “Дніпровська” Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району Донбасу // Зб. наук. пр. “Геотехнічна механіка”. – 2017б. – № 133. – С. 213–227.

7. Ішков В. В., Козій Є. С. Розподіл арсену та ртуті у вугільному пласті  $k_5$  шахти “Капітальна”, Донбас // Мінерал. журн. – 2021. – Т. 43, № 4. – С. 73–86. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.43.04.073>

8. Ішков В. В., Козій Є. С. Новые данные о распределении токсичных и потенциально токсичных элементов в угле пласта  $c_6^u$  шахты “Терновская” Павлоград-Петропавловского геолого-промышленного района // Зб. наук. пр. Нац. гірн. ун-ту. – 2013. – № 41. – С. 201–208.

9. Ішков В. В., Козій Є. С. О распределении золы, серы, марганца в угле пласта  $c_4$  шахты “Самарская” Павлоград-Петропавловского геолого-промышленного района // Зб. наук. пр. Нац. гірн. ун-ту. – 2014а. – № 44. – С. 178–186.

10. Ішков В. В., Козій Є. С. О классификации угольных пластов по содержанию токсичных элементов с помощью кластерного анализа // Зб. наук. пр. Нац. гірн. ун-ту. – 2014б. – № 45. – С. 209–221.

11. Козій Є. С. Особливості розподілу токсичних і потенційно токсичних елементів у вугіллі пласта  $c_{10}$  в шахті “Шашкова” Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району // Зб. наук. пр. “Геотехнічна механіка”. – 2017. – № 132. – С. 157–172.

12. Козій Є. С. Миш'як, берилій, фтор і ртуть у вугіллі пласта  $c_8^s$  шахти “Дніпровська” Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району // Вісн. Дніпропетр. ун-ту. Геологія, географія. – 2018. – № 26 (1). – С. 113–120. <https://doi.org/10.15421/111812>

13. Козій Є. С., Ішков В. В. Класифікація вугілля основних робочих пластів Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району по вмісту токсичних і потенційно токсичних елементів // Зб. наук. пр. “Геотехнічна механіка”. – 2017. – № 136. – С. 74–86.

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

15. Нестеровський В. А., Ішков В. В., Козій Є. С. Токсичні і потенційно токсичні елементи у вугіллі пласта  $c_8^u$  шахти “Благодатна” Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району // Вісн. Київ. нац. ун-ту. Геологія. – 2020. – № 88 (1). – С. 17–24. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.88.03>

16. Нукунов Д. Н., Пунанова С. А. Металлы в нефтях и перспективы добычи ванадия в нефтях Бузачинского свода Туранской платформы // Современные проблемы геологии нефти и газа. – Москва: Научный мир, 2001. – С. 347–353.

17. Пунанова С. А. Микроэлементный состав каустобиолитов и процессы нефтегенерации – от гипотезы Д. И. Менделеева до наших дней // Георесурсы. – 2020. – № 22 (2). – С. 45–55. <https://doi.org/10.18599/grs.2020.2.45-55>

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

19. Хлібишин Ю. Я., Шакір Абд Ал-Амері Мохаммад, Гринишин О. Б., Почапська І. Я. Дослідження дистильованої частини високосір'якової нафти Орховицького нафтового родовища // Вісн. Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – 2013. – № 761. С. 462–465.

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

21. Штурм М. Я., Нукунов Д. Н., Пунанова С. А., Висалиев М. Я. Принципы получения соединений ценных металлов из горючих ископаемых // Химия твердого топлива. – 2013. – № 2. – С. 3–8.

22. Якуцени С. П. Глубинная зональность в обогащенности углеводородов тяжелыми элементами-примесями // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2010. – № 5 (2). – С. 1–7.

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

24. Barwise A. J. G. Role of nickel and vanadium in petroleum classification // Energy Fuels. – 1990. – No. 4 (6). – P. 647-652.

25. Ishkov V. V., Kozii Ye. S., Lozovoi A. L. Definite peculiarities of toxic and potentially toxic elements distribution in coal seams of Pavlograd-Petrodavlovka region // Зб. наук. пр. Нац. гірн. ун-ту. – 2013. – No. 42. – P. 18-23.

26. 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 // J. Geol. Geograph., Geoecology. – 2020. – No. 29 (4). – P. 722-730. <https://doi.org/10.15421/112065>

27. Kozii Ye. S. Arsenic, mercury, fluorine and beryllium in the  $c_1$  coal seam of the Blahodatna mine of Pavlohrad-Petrodavlovka geological and industrial area of Western Donbas // Geo-Technical Mechanics. – 2021а. – No. 159. – P. 58-68. <https://doi.org/10.15407/geotm2021.159.058>

28. Kozii Ye. S. Toxic elements in the  $c_1$  coal seam of the Blahodatna mine of Pavlohrad-Petrodavlovka geological and industrial area of Donbas // Geo-Technical Mechanics. – 2021b. – No. 158. – P. 103-116. <https://doi.org/10.15407/geotm2021.158.103>

29. Raja B. V. R. Vanadium market in the world // Steelworld. – 2007. – No. 13 (2). – P. 19-22.

30. 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. – 11 (3). – P. 43-44.

#### REFERENCES

1. Yerofieiev A. M., Ishkov V. V., Kozii Ye. S. 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” – Dnipro: NTU “Dniprovsk Politekhnik”. 2021а. – P. 177-185. (In Ukrainian).

2. Yerofieiev A. M., Ishkov V. V., Kozii Ye. S., Bartashevskiy S. Ye. 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”. – 2021б. – No. 1(25)–2(26). – P. 83-93. [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).

3. Yerofieiev A. M., Ishkov V. V., Kozii Ye. S., Bartashevskiy S. Ye. Geochemical features of nickel in the oils of the Dnipro-Donetsk basin // Geo-Technical Mechanics. – 2021в. – No. 160. – P. 17-30.

4. Ishkov V. V., Kozii Ye. S. Some features of beryllium distribution in the  $k_5$  coal seam of the “Kapitalna” mine of the Krasnoarmiiskiy geolog-

ical and industrial district of Donbas // Bulletin of Odesa Nat. Univ. Ser. Geography and Geol. – 2020. – Vol. 25, No. 1 (36). – P. 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).

5. *Ishkov V. V., Koziy E. S.* Distribution of toxic and potentially toxic elements in the coal of the layer  $c_7^u$  of the “Pavlogradska” mine of Pavlogradsko-Petropavlovskiy geological and industrial district // Bulletin of Taras Shevchenko Nat. Univ. of Kyiv. Geology. – 2017a. – No. 79 (4). – P. 59-66. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.79.09> (In Ukrainian).

6. *Ishkov V. V., Koziy E. S.* About peculiarities of distribution of toxic and potentially toxic elements in the coal of the layer  $c_{10}^o$  of the Dneprovsk mine of Pavlogradsko-Petropavlovskiy geological and industrial district of Donbas // The Coll. Sci. Papers “Geo-Technical Mechanics” – 2017b. – No. 133. – P. 213-227. (In Ukrainian).

7. *Ishkov V. V., Kozii Ye. S.* Distribution of arsenic and mercury in the coal seam  $k_5$  of the Kapitalna mine, Donbas // Mineralogical Journal (Ukraine). – 2021. – Vol. 43, No. 4. – P. 73-86. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.43.04.073> (In Ukrainian).

8. *Ishkov V. V., Koziy E. S.* New data about distribution of toxic and potentially toxic elements in the coal seam  $c_6^u$  of the Ternovskaya mine of Pavlohrad-Petropavlivka geological and industrial area // Coll. Sci. Works of Nat. Mining. Univ. – 2013. – No. 41. – P. 201-208. (In Russian).

9. *Ishkov V. V., Kozii Ye. S.* About distribution of ash, sulfur, manganese in the coal seam  $c_4$  of “Samarskaya” mine of Pavlograd-Petropavlovskiy geological and industrial area // Coll. Sci. Works of Nat. Mining. Univ. – 2014a. – No. 44. – P. 178-186. (In Russian).

10. *Ishkov V. V., Kozii Ye. S.* About classification of coal seams on the content of toxic elements using cluster analysis // Coll. Sci. Works of Nat. Mining. Univ. – 2014b. – No. 4. – P. 209-221. (In Russian).

11. *Koziy E. S.* Peculiarities of distribution of toxic and potentially toxic elements in the coal of the layer  $c_{10}^o$  in the Stashkov mine of Pavlograd-Petropavlovskiy geological and industrial district // Coll. of Sci. Papers “Geo-Technical Mechanics”. – 2017. – No. 132. – P. 157-172. (In Ukrainian).

12. *Koziy E. S.* Arsenic, beryllium, fluorine and mercury in the coal of the layer  $c_{8B}$  of the “Dniprovsk” mine of Pavlogradsko-Petropavlovskiy geological and industrial district // Dnipropetr. Bull. Univer. Geol., geography. – 2018. – No. 26 (1). – P. 113-120. <https://doi.org/10.15421/111812> (In Ukrainian).

13. *Koziy E. S., Ishkov V. V.* Coal classification of main working seams of Pavlohrad-Petropavlivka geological and industrial district on content of toxic and potentially toxic elements // The Coll. Sci. Papers “Geo-Technical Mechanics” – 2017. – No. 136. – P. 74-86. (In Ukrainian).

14. *Lur'e M. A., Shmidt F. K.* About the classification of oils. Surminity as a genetic classification indicator // Oil and gas. – 2018. – No. 4. – P. 115-121. (In Russian).

15. *Nesterovskiy V. A., Ishkov V. V., Kozii Ye. S.* Toxic and potentially toxic elements in the coal of the seam  $c_{8H}$  of the “Blagodatna” mine of Pavlohrad-Petropavlivka geological and industrial area // Visn. Taras Shevchenko Nat. Univ. of Kyiv. Geology. 2020. – No. 88 (1). – P. 17-24. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.88.03> (In Ukrainian).

16. *Nukenov D. N., Punanova S. A.* 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. – Moscow: Nauchnyi mir, 2001. – P. 347-353. (In Russian).

17. *Punanova S. A.* Microelement composition of caustobioliths and oil generation processes – from the hypothesis of D. I. Mendeleev to the present day // Georesursy. – 2020. – No. 22 (2). – P. 45-55. <https://doi.org/10.18599> (In Russian).

18. *Sukhanov A. A., Petrova Yu. E.* Resource base of associated components of heavy oils in Russia // Petroleum and gas geology. Theory and Practice. – 2008. – No. 3. – P. 1-11. (In Russian).

19. *Khlibyshyn Yu. Ya., Mohammad Sh. A., Hrynyshyn O. B.* Investigation of the distillate part of high-sulfur oil of Orkhovytsia oil field // Bulletin of Lviv Polytechnic National University. – 2013. – No. 761. – P. 462-465. (In Ukrainian).

20. *Shnyukov E. F., Gozhik P. F., Krayushkin V. A.* Vanadium and nickel in natural oils of Asia, Africa, Europe, North and South America // Dopovidy Nac. Akad. Nauk Ukrainy. – 2007. – No. 3. – P. 137-141. (In Russian).

21. *Shpirt M. Ya., Nukenov D. N., Punanova S. A., Visaliev M. Ya.* Principles of obtaining compounds of valuable metals from fossil fuels // Solid Fuel Chemistry. – 2013. – No. 2. – P. 3-8. (In Russian).

22. *Yakutseni S. P.* Deep zoning in the enrichment of hydrocarbons in heavy trace elements // Petroleum and gas geology. Theory and Practice. – 2010. – No. 5 (2). – P. 1-7. (In Russian).

23. *Akpoveta O. V., Osakwe S. A.* Determination of Heavy Metal Contents in Refined Petroleum // IOSR J. of Applied Chemistry. – 2014. – No. 7 (6). – P. 1-2. <https://doi.org/10.9790/5736-07610102>

24. *Barwise A. J. G.* Role of nickel and vanadium in petroleum classification // Energy Fuels. – 1990. – No. 4 (6). – P. 647-652. <https://doi.org/10.1021/ef00024a005>

25. *Ishkov V. V., Koziy E. S., Lozovoi A. L.* Definite peculiarities of toxic and potentially toxic elements distribution in coal seams of Pavlograd-Petropavlovka region // Coll. Sci. Works of Nat. Mining. Univ. – 2013. – No. 42. – P. 18-23. (In Russian).

26. *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 // J. Geol. Geograph. Geoecology. – 2020. – No. 29 (4). – P. 722-730. <https://doi.org/10.15421/112065>

27. *Kozii Ye. S.* Arsenic, mercury, fluorine and beryllium in the  $c_1$  coal seam of the Blahodatna mine of Pavlohrad-Petropavlivka geological and industrial area of Western Donbas // Geo-Technical Mechanics. – 2021a. – No. 159. – P. 58-68. <https://doi.org/10.15407/geotm2021.159.058>

28. *Kozii Ye. S.* Toxic elements in the  $c_1$  coal seam of the Blahodatna mine of Pavlohrad-Petropavlivka geological and industrial area of Donbas // Geo-Technical Mechanics. – 2021b. – No. 15. – P. 103-116. <https://doi.org/10.15407/geotm2021.158.103>

29. *Raja B. V. R.* Vanadium market in the world // Steelworld. – 2007. – No. 13 (2). – P. 19-22.

30. *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). – P. 43-44.

Рукопис отримано 15.12.2022.



**ШАНОВНІ НАУКОВЦІ  
З ГЕОЛОГІЧНОГО НАПРЯМУ!**

**Запрошуємо вас до співпраці!**  
Пропонуємо сторінки нашого видання для висвітлення ваших наукових досліджень.

У 2020 році журнал укотре підтвердив свій **високий науковий рівень**, пройшовши перереєстрацію наукових фахових видань України на підставі рішення атестаційної комісії МОН.

Йому надано категорію “Б” з геологічної (17.03.2020 р.) і технічної (17.03.2020 р.) галузей науки за спеціальностями:

**103** – науки про Землю,  
**184** – гірництво,  
**185** – нафтогазова інженерія та технології.

Редколегія журналу  
**“Мінеральні ресурси України”**