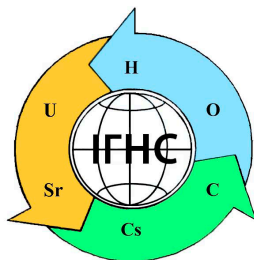


ДЕРЖАВНА УСТАНОВА
«ІНСТИТУТ ГЕОХІМІЇ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА
НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ»



ГЕОХІМІЯ ТЕХНОГЕНЕЗУ

Випуск 8 (36)

GEOCHEMISTRY OF TECHNOGENESIS

Issue 8 (36)



Видавничий дім
«Гельветика»
2022

ISSN (print) 2664-3936

ISSN (online) 2664-3944

Редакційна колегія**Головний редактор** ДОЛІН В.В. *д-р геол. наук***Заступники головного редактора:***Михальченко І.І. д-р геол. наук**Ольховик Ю.О. д-р техн. наук***Члени редколегії:***Дж. Т. Морріс заслужений професор, д-р філос. (біол. н.) (США)**Вілкомірські Б.А. д-р біол. наук (Польща)**Забулонов Ю.Л. чл.-кор. НАНУ, д-р техн. наук**Венгер Є.Ф. чл.-кор. НАНУ, д-р фіз.-мат. наук**Попов О.О. чл.-кор. НАНУ, д-р техн. наук**Верховцев В.Г. д-р геол. наук**Шабалін Б.Г. д-р геол. наук**Шевченко О.Л. д-р геол. наук**Покалюк В.В. д-р геол. наук**Пушкарєв О.В. д-р геол. наук**Родіонов В.Є. д-р техн. наук**Сасенко С.Ю. д-р техн. наук**Литвиненко В.В. д-р техн. наук**Чумаченко С.М. д-р техн. наук**Яцишин А.В. д-р техн. наук**Кручинін С.П. д-р фіз.-мат. наук**Бондар Ю.В. к. геол.-мін. наук**Севрук І.М. к. геол. наук***Відповідальний редактор:***Севрук І.М.***Наукові редактори:** *Забулонов Ю.Л., Долін В.В.***Адреса редакції**

Україна, МСП 03680, м. Київ-142, пр. Палладіна 34-А

097 374 62 94

e-mail: geochem@igns.kyiv.ua

Редактор українського тексту Радченко А.І.

Редактор-перекладач англійського тексту Міщук Н.Б.

Комп'ютерна верстка Кузнєцова Н.С.

Дизайн обкладинки Юдашкіна Н.А.

Збірник засновано у вересні 2000 року. Виходить 1–2 рази на рік.

Свідцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації серія КВ № 23941-13781 ПР від 26.04.2019 р.

Збірник представлений в розділі наукової періодики на сайті Національної бібліотеки ім. В.І. Вернадського як фахове видання в галузі геологічних і технічних наук.

Збірник включено до Переліку наукових фахових видань України категорії Б у галузі природничих наук та механічної інженерії (спеціальності 101 «Екологія», 103 «Науки про Землю», 132 «Матеріалознавство», 183 «Технології захисту навколишнього середовища») відповідно до Наказу МОН України від 29.06.2021 № 735 (додаток 4).

Друкується за постановою Вченої Ради ДУ «ІГНС НАН України»

Editorial Board**Editor-in-Chief** *V. DOLIN D. Sc. (Geol.)***Deputies Editor-in-Chief:***Yu. Ol'hovik D. Sc. (Eng.)**I. Mykhalchenko D. Sc. (Geol.)***Members of editorial board:***James T. Morris Distinguished Research Professor Ph. D. (Biol.), USA**B.A. Wilkomirski Prof. full science, Poland**Yu. Zabulonov. Cor. Member NASU, D. Sc. (Eng.)**Ye. Venher Cor. Member NASU, D. Sc. (Phys.-Mat.)**O. Popov Cor. Member NASU, D. Sc. (Eng.)**V. Verkhovtsev D. Sc. (Geol.)**B. Shabalin D. Sc. (Geol.)**O. Shevchenko D. Sc. (Geol.)**V. Pokaliuk D. Sc. (Geol.)**O. Pushkarev D. Sc. (Geol.)**V. Rodionov D. Sc. (Eng.)**S. Saienko D. Sc. (Eng.)**V. Lytvynenko D. Sc. (Eng.)**S. Chumachenko D. Sc. (Eng.)**A. Iatsyshyn D. Sc. (Eng.)**S. Kruchynin D. Sc. (Phys.-Mat.)**Yu. Bondar Ph. D. (Geol.-Min.)**I. Sevruck Ph. D. (Geol.)***Responsible editor:***Sevruck I.M.***Scientific editors:** *Yu. Zabulonov, V. Dolin***Editorship Addresses**

Ukraine, MCP 03680, Kyiv-142, Palladin av. 34-A

097 374 62 94

e-mail: geochem@igns.kyiv.ua**znp.igns.gov.ua**

Editor of the Ukrainian text A. Radchenko

Editor-translator of English text N. Mitsiuk

Computer make-up of N. Kuznetsova

Cover design N. Yudashkina

ЗМІСТ

Долін В.В., Забулонов Ю.Л., Копиленко О.Л., Шраменко І.Ф. ГЛОБАЛЬНІ ТЕНДЕНЦІЇ В АТОМНІЙ ЕНЕРГЕТИЦІ.....	5
--	---

ГЕОЛОГІЧНІ НАУКИ

Орлов О.О., Долін В.В., Чарний Д.В., Ярощук Д.О. ОЧЕРЕТ ПІВДЕННИЙ (<i>PHRAGMITES AUSTRALIS</i> (CAV.) TRIN. EX STEUD.) ЯК БІОАКУМУЛЯТОР FE, MN, CU НА БІОІНЖЕНЕРНИХ СПОРУДАХ ПОЛТАВСЬКОГО ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНОГО КОМБІНАТУ.....	14
Ширінбекова С.Н. ХІМІЧНИЙ СКЛАД І БУДОВА ПРОДУКТІВ ЗВІТРЮВАННЯ FE, NI-МЕТАЛУ ХОНДРИТА ГРУЗЬКЕ (Н4).....	19
Фігура Л.А., Ковальчук М.С. СТРУКТУРНО-ЛІТОЛОГІЧНА МОДЕЛЬ ШАБЕРІВСЬКОГО РОДОВИЩА ЕЛЮВІАЛЬНИХ КАОЛІНІВ.....	25
Крошко Ю.В., Ковальчук М.С. РУДОНОСНІСТЬ ВІДКЛАДІВ НОВОПЕТРІВСЬКОЇ СВІТИ В МЕЖАХ МЕДВИНСЬКОЇ І СТРОКІВСЬКОЇ ДІЛЯНОК.....	33
Вергельська Н.В., Вергельська В.В. ТРАНСФОРМАЦІЯ ГАЗОВОЇ СКЛАДОВОЇ ПІД ЧАС ПЕРЕБІГУ ГАЗОДИНАМІЧНИХ СИТУАЦІЙ У ВУГІЛЬНИХ ШАХТАХ.....	43

ТЕХНІЧНІ НАУКИ

Ольховик Ю.О. КЛІМАТИЧНІ ЗМІНИ І ЗАХОРОНЕННЯ НА МІСЦІ ОБ'ЄКТІВ НА МАЙДАНЧИКУ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ СТАНЦІЇ.....	47
Решетченко А.І., Шаповалов О.І. ОСОБЛИВОСТІ СТРАТЕГІЧНОЇ ЕКОЛОГІЧНОЇ ОЦІНКИ ТЕРИТОРІЙ СЕЛИЩНИХ ГРОМАД ЯК МЕХАНІЗМУ СПРІЯННЯ СТАЛОМУ РОЗВИТКУ.....	52

НАШІ ЮВІЛЯРИ

ЗАБУЛОНОВ ЮРІЙ ЛЕОНІДОВИЧ.....	59
--------------------------------	----

ВТРАТИ НАУКИ

УЧЕНИЙ, ПОЕТ, РОМАНТИК (ПАМ'ЯТИ ЧЛЕНА-КОРЕСПОНДЕНТА НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ РУДОЛЬФА ЯКОВИЧА БЕЛЄВЦЕВА (5 ЛИПНЯ 1937 РОКУ – 27 ГРУДНЯ 2022 РОКУ).....	61
ІНФОРМАЦІЯ ДЛЯ АВТОРІВ.....	63

CONTENTS

Dolin V.V., Zabulonov Yu.L., Kopylenko J.L., Shramenko I.F. GLOBAL TENDENCIES IN NUCLEAR POWER ENGINEERING	5
--	---

GEOLOGICAL SCIENCES

Orlov O.O., Dolin V.V., Charny D.V., Yarochshuk D.O. COMMON REED (<i>PHRAGMITES AUSTRALIS</i> (CAV.) TRIN. EX STEUD.) AS BIOACCUMULATOR OF FE, MN, CU ON BIO-ENGINEERING FACILITIES OF POLTAVSKY MINING AND PROCESSING PLANT.....	14
Shyrinbekova S.N. CHEMICAL COMPOSITION AND STRUCTURE OF THE WEATHERING PRODUCTS OF IRON-NICKEL OF THE GRUZ'KE CHONDRITE (H4).....	19
Figura L.A., Kovalchuk M.S. STRUCTURAL AND LITHOLOGICAL MODEL OF THE SHABERIVSKE DEPOSIT OF ELUVIAL KAOLIN.....	25
Kroshko Yu.V., Kovalchuk M.S. ORE-BEARING OF SEDIMENTS OF THE NOVOPETRIVSKA SUITE WITHIN THE BOUNDARIES OF THE MEDVINSKA AND STROKIVSKA AREAS.....	33
Vergelska N.V., Vergelska V.V. TRANSFORMATION OF THE GAS MIXTURE DURING GAS-DYNAMIC SITUATIONS IN COAL MINES.....	43

ENGINEERING SCIENCES

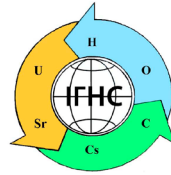
Olkhoviyk Yu.O. CLIMATE CHANGES AND SITE DISPOSAL OF OBJECTS ON THE CHRONOBYL STATION SITE.....	47
Reshetchenko A.I., Shapovalov O.I. PECULIARITIES OF THE STRATEGIC ECOLOGICAL ASSESSMENT OF THE TERRITORIES OF SETTLEMENT COMMUNITIES AS A MECHANISM FOR PROMOTING SUSTAINABLE DEVELOPMENT.....	52

OUR JUBILEE CELEBRANTS

ZABULONOV YURII LEONIDOVYCH.....	59
----------------------------------	----

LOSSES OF SCIENCE

SCIENTIST, POET, ROMANTICIST (IN MEMORY OF THE CORRESPONDING MEMBER OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF UKRAINE RUDOLF YAKOVYCH BELIEVTSEV (5 JULY 1937 – 27 DECEMBER 2022).....	61
INFORMATION FOR AUTHORS.....	63



DOI

УДК 621.313.320

Долін В.В., Забулонов Ю.Л., Копиленко О.Л., Шраменко І.Ф.

Долін В.В., доктор геологічних наук, професор, факультет цивільного та промислового будівництва Пізанського Університету (Італія) Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», ORCID: 0000-0001-6174-2962, vdolin@ukr.net

Забулонов Ю.Л., доктор технічних наук, професор, член-кореспондент НАН України, Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», ORCID: 0000-0002-4517-9927, Zabulonov@nas.gov.ua

Копиленко О.Л., доктор юридичних наук, професор, академік НАН України, Народний депутат України, ORCID: 0000-0003-2644-151X, Kopylenko@nas.gov.ua

Шраменко І.Ф., кандидат геолого-мінералогічних наук, Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», ORCID: 0000-0001-7746-2332, shramenko_ivan@ukr.net

ГЛОБАЛЬНІ ТЕНДЕНЦІЇ В АТОМНІЙ ЕНЕРГЕТИЦІ

Стаття присвячена аналітичному дослідженню та параметризації динаміки світового ядерно-енергетичного комплексу від першої самопідтримуваної ланцюгової реакції до наших днів. Бурхливий розвиток ядерної енергетики у 1970–1980-х роках істотно сповільнився на початку третього тисячоліття. Динаміка нарощування експлуатаційних потужностей являє собою лінійну розгортку завершеного витка спіралі розвитку. Майже 90 % електроенергії в атомній енергетиці в 1970–2021 роках було вироблено легководними реакторами типу PWR і BWR. Очікується, що до 2077 року їхній технологічний ресурс буде вичерпано на 99 %. При збереженні нинішніх темпів розвитку частка електроенергії, виробленої на АЕС у світі, до того часу зменшиться до 1,5 %. Атомні потужності в Європі та Америці скорочуються, натомість розвиваються в Азії, зокрема в Китаї, де розташовано майже 70 % АЕС, що будуються. Темпи падіння видобутку урану вказують на те, що до 2040 року буде задоволено не більше половини світових потреб у ядерному паливі. Безпека та захищеність ядерно-енергетичного комплексу істотно знижуються із зростанням потужності реакторів, розбіжність між розрахунковими та спостережуваними ймовірностями важкої радіаційної аварії досягає двох порядків величини. Унаслідок сучасного прояву великодержавного ядерного тероризму глобальна система ядерної та фізичної ядерної безпеки потребує докорінної перебудови. Подальший розвиток ядерної енергетики вимагає «технологічного стрибка». Наразі не існує технології, доступної для широкого впровадження, яка могла б збільшити потужність ядерних реакторів на порядок, без шкоди для ядерної безпеки, особливо враховуючи, що термоядерний реактор навряд чи буде широко впроваджено в найближчі кілька десятиліть. Технологічним мостом між існуючими і майбутніми розробками можуть стати малі модульні реактори, які в короткостроковій перспективі здатні пом'якшити дефіцит енергопостачання.

Ключові слова: атомна енергетика, ядерний реактор, темпи розвитку, вичерпання технологічних можливостей, сировинна база, ядерна та радіаційна безпека, термоядерний синтез, малі модульні реактори.

До 80-річчя першої самопідтримуваної ядерної реакції
До 95-річчя з дня народження академіка Е.В. Соботовича

Головні проблеми людства – це енергія і відходи. У широкому сенсі відходи – це побічний результат нашої діяльності з виробництва енергії та її використання. Нам необхідно виграти час, поки ми зуміємо створити безвідходні технології отримання енергії. Поки що найбільш прийнятне, що ми маємо – ядерна, а в майбутньому – термоядерна енергетика. На жаль, вони не безвідходні...

Е.В. Соботович

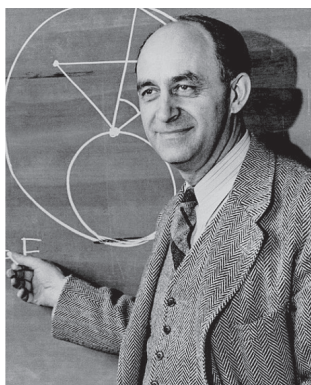
Вступ

Ера атомної енергетики розпочалася 80 років тому, коли в грудні 1942 року вперше у світі нобелівський лауреат Енріко Фермі експериментально продемонстрував ланцюгову реакцію, що самопідтримується [1; 2].

Ще в січні 1939 року Фермі висловив думку, що при розпаді ядра урану слід очікувати випромінювання швидких нейтронів. Якщо кількість нейтронів, що вилетіли, буде більше, ніж кількість поглинутих, то

тоді шлях до ланцюгової реакції буде відкрито. Проведений експеримент підтвердив наявність швидких нейтронів, хоча їх питома кількість за один акт поділу залишилася невизначеною.

Навесні 1941 року Фермі почав працювати над теорією ланцюгової реакції в уран-графітовій системі. Вже влітку почалася серія експериментів, головним завданням яких було вимірювання нейтронного потоку. Разом з Г. Андерсоном було поставлено близько



Енріко Фермі (1901–1954)
Enrico Fermi (1901–1954)



Е.В. Собо́тович (1927–2013)
E.V. Sobotovich (1927–2013)

тридцяти дослідів, і в червні 1942 р. було отримано коефіцієнт розмноження нейтронів більше одиниці. Це означало можливість отримання ланцюгової реакції у досить великій решітці з урану та графіту і послужило початком розробки конструкції реактора. Фермі зробив поправку до отриманого значення коефіцієнта розмноження і врахував це у розмірах запланованого котла, розробив метод визначення критичних розмірів системи. Передбачивши, що атмосферний азот істотно поглинатиме нейтрони, Фермі наголосив на розміщенні усього величезного пристрою реактора в гігантський намет з матерії для оболонок аеростатів. Таким чином з'явилася можливість підтримувати відповідний склад атмосфери навколо реактора. Будівництво реактора почалося в Металургійній лабораторії університету Чикаго в жовтні, а закінчилося 2 грудня 1942 року.

Перша в світі атомна електростанція потужністю 5 МВт була введена в дію в червні 1954 року в Обнінську. Розвинені індустріальні країни розпочали проектування та будівництво АЕС з реакторами різних типів. До 1964 року сумарна потужність АЕС у світі зростає до 5 млн кВт; до 1968 року в світі працювали на АЕС 365 енергоблоків сумарною встановленою потужністю 253 млн кВт.

Розроблені різними країнами типи та конструкції реакторів з різними уповільнювачами та теплоносіями стали основою національної енергетики. Найпоширенішими є реактори на теплових нейтронах. У США – це передусім водо-водяні реактори під тиском і киплячі реактори, у Канаді – важководні реактори на природному урані, у колишньому СРСР – водо-водяні реактори під тиском (ВВЕР) та графітові каналні реактори (РВПК).

Зростає одинична потужність реакторів. Так, реактор РВПК-1000 електричною потужністю 1000 МВт був встановлений на Ленінградській АЕС у 1973 році. Наразі розробляються реактори вдвічі більшої потужності. Потужність великих АЕС, наприклад, найбільшої в Європі Запорізької АЕС, досягла 6000 МВт. Найпотужнішою в світі АЕС є Kashiwazaki Kariva (Японія) потужністю 8200 МВт (7 реакторів типу BWR встановленою потужністю 1100–1356 МВт).

Враховуючи, що блоки АЕС працюють практично з постійною потужністю, й покривають базову частину добового графіку навантажень об'єднаних

енергосистем, у сполученні з АЕС у світі будувалися високومانеврені ГАЕС з метою покриття змінної частини графіку та закриття нічного провалу у графіку навантажень.

Ядерні аварії

Високі темпи розвитку атомної енергетики не відповідали рівню її безпеки. У Радянському Союзі при навчанні операторів АЕС широко впроваджувався підхід до ядерного реактора, як до топки звичайного парового котла. Аварійні ситуації, що супроводжувалися значними викидами радіоактивності та опроміненням персоналу, ретельно приховувалися. З 1952 до 2019 рр. у світі зафіксовано 11 крупних радіаційних аварій з розплавом активної зони реактора 4–7 рівня за Міжнародною шкалою ядерних подій (INES).

Серйозний удар розвитку атомної енергетики було завдано важкою аварією на АЕС «Три Майл Айленд» у США у 1979 році. Це спричинило радикальний перегляд вимог безпеки, посилення чинних нормативів і перегляд програм розвитку АЕС у всьому світі. Важка аварія на Чорнобильській АЕС в Україні у 1986 році, що кваліфікується за міжнародною шкалою ядерних подій як аварія найвищого сьомого рівня, призвела до екологічної та гуманітарної катастрофи, подолання наслідків котрої перекладено на плечі наступних поколінь, підірвала довіру світового співтовариства до атомної енергетики.

У багатьох країнах були призупинені програми розвитку атомної енергетики, а в деяких – взагалі відмовилися від планів її розвитку. Незважаючи на це, вже до 2000 року на АЕС, що експлуатувалися 37 країнами, вироблялося 16 % світового виробництва електроенергії. Ще одним тяжким ударом для світової атомної енергетики стала аварія сьомого рівня на японській АЕС «Фукусіма-1» 11 березня 2011 року.

Ці події спричинили перегляд планів щодо будівництва АЕС. Серед тих, хто вирішив відмовитися від планів будівництва АЕС на своїй території, Венесуела та Таїланд. 20 квітня 2011 року Парламент Італії прийняв закон про відмову від розвитку ядерної енергетики в країні, що є прямим наслідком впливу аварії на японській АЕС. Рішення про призупинення експлуатації 7 ядерних блоків, які були побудовані до 1980 року,

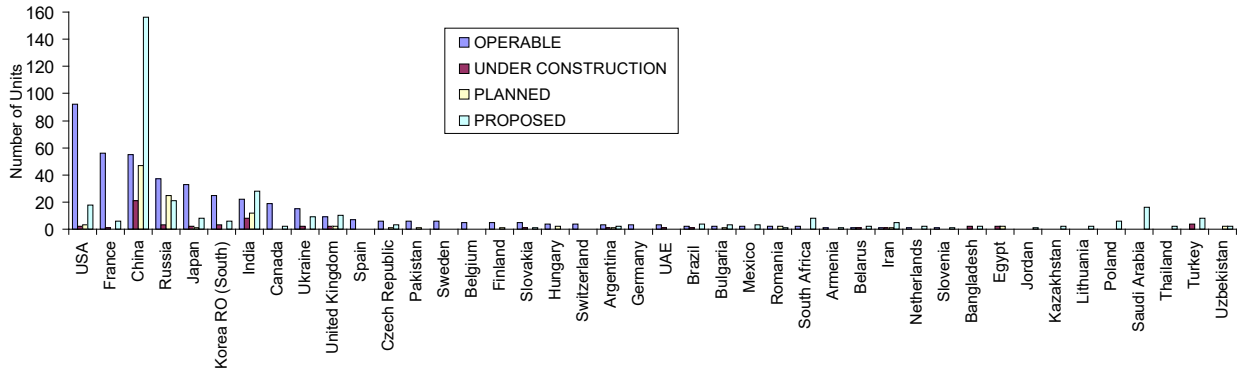


Рис. 1. Ядерні реактори у світі станом на січень 2023 р. Джерело даних: бази даних Всесвітньої ядерної асоціації (WNA) та МАГАТЕ (IAEA) [6, 7].

Fig. 1. State and forecast of construction of the nuclear power plants as of February 2023 (data are from WNA and IAEA database [6, 7] dated 24.02.2023).

прийняв уряд Німеччини. Швейцарія також прийняла рішення призупинити реалізацію нових проектів будівництва ядерних енергоблоків.

Водночас Франція, Чехія, Польща, Словаччина заявили, що не збираються переглядати свої програми розвитку ядерної енергетики. Україна, Індія, Китай, Росія і Білорусь продовжують розвивати власний ядерний паливний комплекс.

До аварії на «Фукусіма-1» у світі експлуатувалося 440 ядерних енергоблоків, у стадії будівництва знаходилося 65 ядерних енергоблоків. Спорудження ще 150 ядерних енергоблоків було заплановано у найближчі 10 років та понад 200 проектів передбачалося реалізувати в більш довготривалій перспективі. Станом на 1 квітня 2011 року виробництво електроенергії на АЕС у світі складало 14 % від її загального обсягу.

За минулі 12 років спостерігається не лише зменшення темпів розвитку ядерної енергетики, а й помітний спад. Станом на січень 2023 р. у світі експлуатується 438 реакторів, будується 58, планується будівництво 104, у віддаленій перспективі – 341, частка виробництва електроенергії на АЕС до 2019 р. скоротилася до 10.3 %.

Провідне місце в ядерному енергетичному комплексі світу обіймають США, в яких на початок 2023 р. в експлуатації було 92 ядерних реактора (104 у 2011 р.) загальною потужністю майже 95 ГВт(є) Японія після катастрофи 2011 р. зменшила кількість енергоблоків з 54 до 33, що перемістило її ядерно-енергетичний комплекс (ЯЕК) на 5 місце в світі. Друге місце в цьому переліку наразі обіймає Франція (56 реакторів проти 58 у 2011 р.) Інтенсивний розвиток ЯЕК в Китаї та Індії вивів їх потужності відповідно на 3 та 7 місце в світі, перемістивши Канаду та Україну на восьме і дев'яте відповідно (рис. 1). У той час, як в Європі, Америці та Канаді кількість працюючих ядерних реакторів зменшується, у Китаї будується 21 реактор та заплановано в перспективі понад 200, в Індії – 8 та 40 відповідно. Обговорюються плани спорудження АЕС у Польщі, Литві, Казахстані, ПАР та Саудівській Аравії (рис. 1).

Структура виробництва електроенергії реакторами АЕС

Наразі у світі експлуатуються наступні типи ядерних енергетичних реакторів [3]:

1) PWR (pressurized water reactor) – водно-водяний реактор під тиском, в якому легка вода є теплоносієм і сповільнювачем (наприклад ВВЕР);

2) BWR (boiling water reactor) – киплячий реактор, в якому, на відміну від PWR, утворення пари, що подається на турбіни, відбувається безпосередньо в реакторі;

3) FBR (fast breeder reactor) – реактор-розмножувач на швидких нейтронах, що не вимагає наявності сповільнювача;

4) GCR (gas-cooled reactor) – газоохолоджуваний реактор. У ролі сповільнювача використовується за правилом графіт;

5) LWGR (light water graphite reactor) – легководний графітовий реактор, наприклад РВПК;

6) PHWR (pressurised heavy water reactor) – важководний реактор під тиском;

7) HTGR (high-temperature gas-cooled) – високо-температурний газоохолоджуваний реактор;

8) HWGCR (heavy water-moderated, gas-cooled reactor) – газоохолоджуваний реактор з важководним сповільнювачем;

9) HWLWR (heavy water-moderated, boiling light-water-cooled reactor) – киплячий реактор зі сповільнювачем з важкої води;

10) PBMR (pebble bed modular reactor) – модульний реактор з кульовими ТВЕЛами;

11) SGHWR (Steam-Generating Heavy Water Reactor) – киплячий важководний реактор.

За півстоліття (1970–2021) енергоблоками АЕС вироблено $9.2 \cdot 10^{17}$ Вт·год електроенергії. Понад 2/3 цього обсягу вироблено водо-водяними реакторами PWR та ВВЕР, 21 % – киплячими легководними реакторами BWR (рис. 2). Важководними PHWR, легководними графітовими LWGR (РВПК), газоохолоджуваними GCR реакторами вироблено близько 12 % електроенергії, на решту – разом припадає менше 1 %.

Таблиця 1. Параметри моделювання інтегральних показників генерування електроенергії

Table 1. Parameters used in the simulation of integrated energy generation

Reactor system	A	B	k	R	Forecast for equilibrium limit	
					IEG, 10^{A+B} , 10^7 GW(e)	Expected year of 99% achievement
Total IEG	5.04	2.94	0.071	0.99	9.55	2077
PWR	4.51	3.29	0.073	0.99	6.31	2073
BWR	4.42	2.85	0.079	0.99	1.86	2064
PHWR	3.53	3.09	0.084	0.99	0.417	2057
LWGR	0.09	6.23	0.162	0.98	0.207	2015
GCR	4.72	1.74	0.077	0.99	0.288	2065

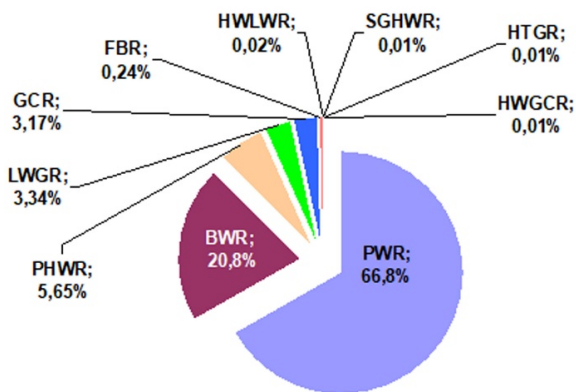


Рис. 2. Структура згенерованої ядерними реакторами електроенергії (1970–2021). Розраховано за даними WNA та IAEA [6; 7].

Fig. 2. Total nuclear electricity produced in the period 1970–2021, as calculated using WNA and IAEA databases [6; 7].

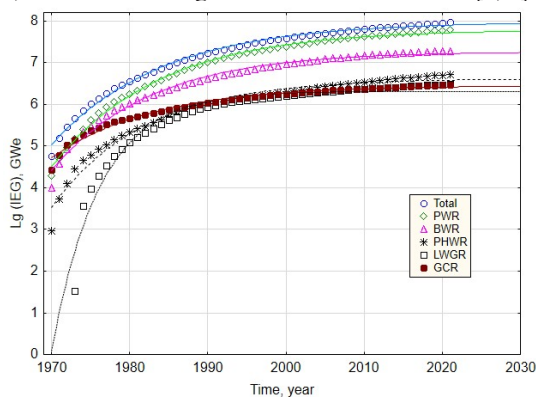


Рис. 3. Інтегральні показники генерування електроенергії (IEG) різними типами ядерних реакторів. Побудовано з використанням бази даних WNA [6] та IAEA. Розраховано за даними WNA та IAEA [6; 7].

Fig. 3. Integrated Energy Generation (IEG) by different type of nuclear reactors. Shown trends are calculated based on WNA and IAEA databases [6; 7]

Загальні тенденції щодо уповільнення розвитку ЯЕК ілюструються інтегральним показником згенерованої електроенергії, який відображає сумарну

її величину за проміжок часу, починаючи від 1970 р. (рис. 3). Тобто кожна точка відображає загальну кількість електроенергії, згенерованої реакторами відповідного типу від 1970 р. до часу, який відповідає цій точці.

У напівлогарифмічних координатах цей показник з високою вірогідністю апроксимується рівнянням кінетики I порядку для незворотного процесу:

$$Lg(IEG) = A + B(1 - e^{-kt}), \quad (1)$$

де A і B – коефіцієнти, що визначають початкові (A) та кінцеві (рівноважні) (A+B) умови процесу, k – константа швидкості, t – час. Величина константи швидкості визначає крутизну кривої та швидкість асимптотичного досягнення стану рівноваги.

Параметри апроксимації, визначені методом ітерації за допомогою програми STATISTICA, статистично достовірно ($R > 98\%$) свідчать, що вичерпання можливостей сучасних технологій, які ґрунтуються на поділі ядер важких елементів, в ядерній енергетиці прогнозується до кінця нинішнього століття. Константа швидкості генерування енергії для всіх типів реакторів, за виключенням легководних графітових, становить $0.077 \pm 10\%$ рік⁻¹ (табл. 1). Що стосується реакторів LWGR (РВПК), то судячи з результатів моделювання ($k=0.162$ рік⁻¹), можливості цієї технології вже вичерпано (табл. 1, рис. 3).

Сучасна криза в ядерній енергетиці

Беручи до уваги найбільш віддалену прогнозу дату – 2077 рік, слід зазначити, що глобальний розвиток ЯЕК знаходиться в умовах кризи. Нормативний термін експлуатації більшості ядерних реакторів 30 років наразі продовжується до 45–55 років. Називається навіть термін 60 років, що аж ніяк не сприяє дотриманню принципів ядерної безпеки. З 438 реакторів, які знаходяться в експлуатації, 27 (17,405 МВт(е)) працюють понад 50 років, 142 (112,983 МВт(е)) – понад 40, 298 (266,784 МВт(е)) – понад 30 (рис. 4). Тобто майже 70 % ядерно-енергетичних потужностей у світі виробило свій нормативний ресурс. Навіть враховуючи подовження термінів, у найближчі 10 років від 100 до 150 реакторів буде виведено з експлуатації. Натомість у стадії будівництва – 58 реакторів загальною потужністю 60,462 МВт(е), які повинні вводитися

в експлуатацію в цей же період. Тобто наявно двократний прогнозний дефіцит ядерно-енергетичних потужностей, які будуть уведені та виведені з експлуатації порівняно з сьогоденням.

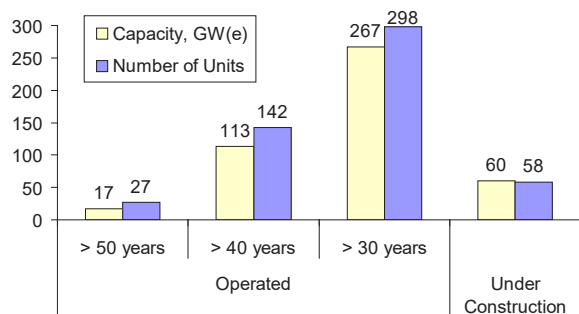


Рис. 4. Потужності ядерної енергетики, що експлуатуються понад 30 років. Побудовано з використанням бази даних (WNA) [6; 7]

Fig. 4. Nuclear units in exploitation over 30 years. Plotted using the WNA database [6; 7]

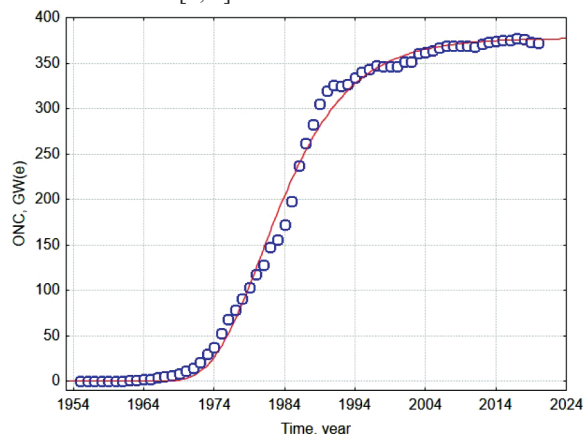


Рис. 5. Глобальна еволюція діючих ядерно-енергетичних потужностей (ONC – Operable Nuclear Capacity). Побудовано у 2012 р. [8] з використанням бази даних WNA [6; 7]

Fig. 5. Global evolution of Operable Nuclear Capacity (ONC). Plotted in 2012 [8] including the reactor under construction. Shown trend is calculated based on WNA database [6; 7]

На рубежі другого і третього тисячоліть нашої ери безвідносно до крупних радіаційних аварій у світі спостерігається початок технологічної кризи в ядерній енергетиці. Понад 10 років тому в роботі [8] ми звернулися до проблеми вичерпання сучасних технологічних можливостей процесу поділу ядер важких елементів (рис. 5). Точки, нанесені на графік починаючи з 2012 р., відображали прогнозні величини, наведені в той час у базі даних WNA. Розвиток ядерної енергетики з високою достовірністю ($R^2 = 0,99$) було описано кривою вигляду:

$$ONC = e^{k_1(1-e^{-k_2t})}, \quad (2)$$

де ONC (Operable Nuclear Capacity) – загальна потужність реакторів АЕС з урахуванням виведених

з експлуатації, $\text{ГВт (ел.)} \cdot \text{рік}^{-1}$, k_1 та k_2 – константи швидкості розвитку ядерної енергетики, які відображають об'єктивні і суб'єктивні чинники еволюції (зростання світових потреб в електроенергії, демографію, зростання добробуту, технологічні обмеження, економічна доцільність, громадська думка тощо), рік^{-1} . Форма кривої цілком відповідає законам діалектики, сучасним уявленням щодо розвитку суспільства та фактично являє собою розгорнуту лінійну проекцію завершеного витка спіралі розвитку.

Серед чинників уповільнення глобального розвитку ЯЕК слід зазначити:

1. Вичерпання можливостей технології поділу ядер важких елементів.

Сучасний етап розвитку ЯЕК, який продовжиться ще протягом півстоліття (див. табл. 1), визначається головним чином будівництвом водо-водяних реакторів PWR. Найпростішим і найефективнішим засобом покращання економічних показників АЕС та зростаючих енергетичних потреб видається збільшення потужності ядерного реактора без принципової зміни його систем. Кожне еволюційне удосконалення легководних ядерних реакторів супроводжувалося підвищенням електричної потужності. Інноваційні розробки досягають $1400\text{--}1600 \text{ МВт(ел.)} \cdot \text{рік}^{-1}$, що сприяє зниженню вартості кожного кіловата встановленої потужності на $15\text{--}20\%$ [9]. Протягом 1954–1973 рр. потужність реактора було збільшено у 200 разів: від 5 до 1000 МВт(ел.). Протягом наступних 50 років вдалося збільшити потужність реактора на $40\text{--}60\%$ (~1,5 разів). Наразі не існує технологічної розробки, котра б передбачала істотне (на порядок) збільшення потужності без шкоди показникам ядерної та радіаційної безпеки.

Єдина відома на сьогодні технологія, яка б дозволила здійснити такий «технологічний прорив» – *термоядерний синтез*.

Проект міжнародного реактора-ТОКАМАКА ITER показав, що така машина може бути побудована при сучасному рівні розвитку технології та буде здатна провести фізичні й ядерно-технологічні випробування, необхідні для створення першої дослідної термоядерної електростанції. Очікувалося, що ITER почне роботу в 2010–2011 рр. і закінчить свою програму до 2030–2031 рр. До того часу може бути побудована і перша дослідна термоядерна електростанція на основі ТОКАМАКУ. На жаль, незважаючи на поширений оптимізм (із 1950-х років, коли перші дослідження розпочались), істотні перешкоди між сьогоднішнім розумінням процесів ядерного синтезу, технологічними можливостями та практичним використанням ядерного синтезу досі не подолано. У червні 2016 року Рада ITER схвалила оновлений ресурсно-навантажений комплексний графік через First Plasma; на своєму наступному засіданні в листопаді 2016 року було оновлено графік до початку дейтерієво-тритієвої операції у 2035 році. За базовим сценарієм 2016 року перша плазма була запланована на грудень 2025 року. Імовірно з низки об'єктивних причин ці терміни буде подовжено [10].

Прогнозується, що внаслідок впровадження термоядерного реактора істотно зменшаться обсяги радіоактивних відходів. Проте у роботі [11] наводиться оцінка, що загальний обсяг радіоактивних відходів буде порівняльним із звичайними ядерними реакторами, та що частина цих відходів вимагатиме довготривалого зберігання.

Реалізація проекту термоядерного енергетичного реактора призведе до загострення тритієвої проблеми. Генерування тритію в термоядерному реакторі – близько $1 \cdot 10^{19}$ Бк \times ГВт $^{-1}$ – на порядок перевищує його природний вміст у біосфері, а викид в навколишнє середовище – на чотири порядки більше, ніж у сучасних ядерних реакторах [8; 12].

2. Вичерпання сировинної бази для виготовлення ядерного палива.

Загальні світові ресурси урану, як і будь-якого іншого мінералу чи металу, точно невідомі. Єдиним значущим показником довгострокової безпеки постачання є перспективні ресурси. Визначені ресурси, які можна видобути (перспективні плюс прогнозні ресурси), у цій категорії до 130 доларів США/кг U становлять 6 147 800 т [13]. Загальні ідентифіковані ресурси, що видобуваються, у цій категорії до \$260/кг U становлять 8,070 мільйонів тонн U. Відомі світові ресурси урану зросли щонайменше на чверть за останнє десятиліття завдяки активізації розвідки корисних копалин.

Водночас, розробка родовищ урану з використанням буро-вибухових технологій або підземним вилугуванням спричинює проблему екологічно безпечного закриття (post-mining) добувних підприємств унаслідок накопичення великих об'ємів небезпечних відходів, формування ділянок активної атмосферної міграції радону, геохімічного забруднення і руйнування ландшафтів.

Нинішніх перспективних світових ресурсів урану (6,15 Мт) у вартісній категорії, утричі нижчій за сучасні спотові ціни, достатньо для забезпечення атомної енергетики приблизно на 90 років. Це рівень гарантованих ресурсів вище, ніж зазвичай для більшості корисних копалин. Подальша розвідка та вищі ціни, безсумнівно, на основі сучасних геологічних знань дадуть додаткові ресурси, оскільки поточні вичерпуються.

Крім родовищ, існує низка вторинних джерел урану техногенного та природного походження: цивільні запаси, військові боеголовки, хвостосховища збагачувальних фабрик тощо, а також родовища фосфоритів, рідкісноземельних елементів, чорних (квасцових) сланців тощо.

Аналіз даних щодо світового виробництва урану свідчить про істотне загострення проблеми виробництва ядерного палива. Динаміка виробництва урану має тенденцію до скорочення (рис. 6А), сучасний попит забезпечується менш, ніж на 80 % (рис. 6В). За збереження цих тенденцій до 2040 р. забезпечуватиметься близько половини світового попиту.

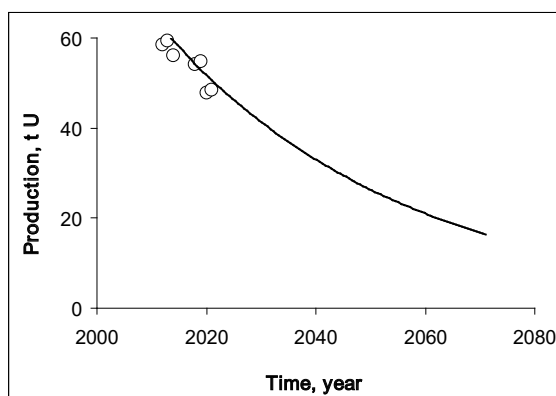
Сьогодні уран є єдиним паливом для ядерних реакторів. Проте **торій** також можна використовувати як паливо для реакторів CANDU або в реакторах, спеціально призначених для цієї мети. Ефективні нейтронні реактори, такі як CANDU, здатні працювати на торієвому паливному циклі, якщо їх запустити з використанням розщеплюваного матеріалу, такого як U-235 або Pu-239. Потім атом торію (Th-232) захоплює нейтрон у реакторі, перетворюючись на розщеплюваний уран (U-233), який продовжує реакцію. Деякі передові конструкції реакторів, ймовірно, зможуть використовувати торій у значних масштабах.

Торієвий паливний цикл має деякі привабливі особливості, хоча він ще не використовується в комерційних цілях.

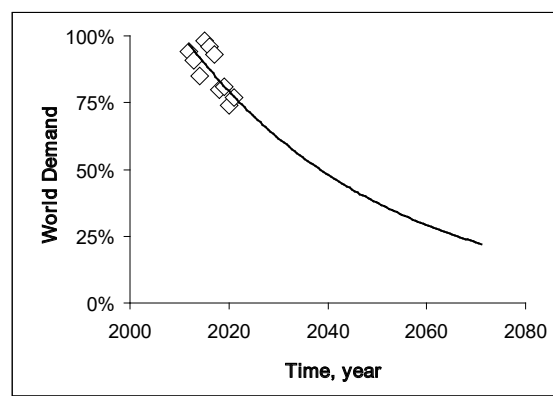
Запаси торію в земній корі приблизно втричі більші, ніж урану. У надрах України зосереджено близько 2 % світових запасів урану – істотно більше, ніж на всій решті території Європи, що забезпечить власні потреби атомної енергетики на 100 років. У разі впровадження торієвого паливного циклу – запаси сировини оцінюються на тисячоліття.

3. Проблеми безпеки та вразливості ядерних енергетичних установок

Сучасні тенденції на ринку рішень спрямовані на збільшення потужності реакторних блоків АЕС, що само по собі збільшує ймовірність важких аварій. З іншого боку, впровадження нових активних і пасивних систем безпеки, зокрема, створення нових видів стійкого до важких аварій палива, повинно зменшити таку ймовірність.



A



B

Рис. 6. Динаміка світового виробництва урану (А) та забезпечення попиту (В). Побудовано з використанням бази даних WNA [6]

Fig. 6. Global Uranium production (A) and World demand (B). Trends are calculated according to WNA database [6]

Поширена думка, що ймовірнісні оцінки безпеки показують справжнє значення частоти аварій для даного реактора, не відповідає дійсності. Насправді це значення схильне до невизначеності. У кращому випадку можна запропонувати довірчий інтервал, в межах якого знаходиться ймовірність аварії.

Варто зазначити, що з розвитком реакторних технологій ймовірність розплавлення активної зони реактора знизилася та оцінюється для сучасних технологій $2.7 \cdot 10^{-7} - 7.2 \cdot 10^{-6}$ реактор/рік [14].

Розбіжність між реальними спостереженнями за радіаційними аваріями та їх частотою, досягає двох порядків величини частоти аварій, прогнозованої ймовірнісними моделями. З початку 1960-х років і підключення до мережі першого ядерного реактора до 2013 р. у світі пройшло 14 400 реактор-років. Ця цифра отримана шляхом додавання всіх років роботи всіх коли-небудь побудованих реакторів, які виробляли електроенергію, незалежно від того, чи вони все ще працюють, були зупинені раніше запланованого терміну чи ні. Іншими словами, це відповідає роботі одного реактора протягом 14 400 років.

Водночас, з моменту підключення до мережі першого цивільного реактора сталося 11 часткових або повних аварій з розплавленням активної зони. Таким чином, зареєстрована частота розплавлення активної зони становить 11 на 14 400, або $7.6 \cdot 10^{-4}$, тобто одна аварія на кожні 1300 реакторних років. Проте порядок величини, про який повідомляють ймовірнісні дослідження безпеки, коливається від 10^{-4} до 10^{-5} , тобто аварія на кожні 10 000-100 000 реакторних років. У порівнянні з 1 300 це означає розбіжність між розрахованими і спостережуваними ймовірностями в десятки і сотні разів [15].

Атомні електростанції, цивільні дослідницькі реактори, деякі військово-морські паливні об'єкти, заводи зі збагачення урану, заводи з виробництва палива і навіть потенційно уранові шахти є вразливими до нападів, які можуть призвести до масштабного радіоактивного забруднення. Від 1973 р. ядерні енергетичні реактори дев'ять разів було піддано атакам внаслідок військових конфліктів [16]. У базі даних МАГАТЕ міститься інформація щодо майже 4 000 випадків несанкціонованої діяльності, пов'язаної з ядерними та іншими радіоактивними матеріалами [17].

Унаслідок російської агресії, яка породила новий тип тероризму – великодержавний ядерний тероризм – світ виявився на межі глобальної ядерної катастрофи, коли під загрозою вивільнення з-під фізичних бар'єрів захисту виявилися обсяги радіоактивності, співрозмірні з тисячами Чорнобильських катастроф та мільйонами ядерних бомб, скинутих на Хіросіму [18]. Ці загрози, передусім, визначаються обсягами відпрацьованого ядерного палива (ВЯП) – Ахіллесової п'яти атомної енергетики, – в якому зосереджено понад 90 % техногенної радіоактивності на планеті. Система фізичного захисту сучасних ядерних реакторів передбачає стійкість до високого тиску, землетрусу, авіакатастрофи тощо. Найбільш небезпечною є терористична атака на сховища відпрацьованого ядерного палива, припинення їх енергопостачання, охолодження та вентильовання, що призвело зокрема в минулому, до низки катастроф найвищого 6–7 рівня за шкалою INES.

Станом на початок 2017 р. у світі було накопичено приблизно 265 000 т ВЯП (у т важкого металу), з яких 127 000 т було відправлено на переробку. Поточний

загальний глобальний обсяг твердих радіоактивних відходів становить приблизно 38 млн м³, з яких 30,5 млн м³ (81 % від загального обсягу) захоронено остаточно, решта 7,2 млн м³ (19 %) зберігаються у тимчасових сховищах в очікуванні остаточного захоронення. Понад 98 % від обсягу твердих відходів класифікуються як дуже низькоактивні або низькоактивні відходи, а більша частина, що залишилася, є відходами середнього рівня активності. Що стосується загальної радіоактивності, то ситуація повністю протилежна: приблизно 98 % радіоактивності припадає на відходи середнього та високого рівня активності [19].

4. Соціально-економічні чинники

Незважаючи на те, що в липні 2022 р. Європарламент відкрив шлях до визнання інвестицій у природний газ та атомну енергетику такими, що відповідають концепції сталого розвитку, пересічні громадяни не виявляють особливого ентузіазму щодо будівництва АЕС в зоні їхньої життєдіяльності. Важкі соціально-економічні та медико-біологічні наслідки великих ядерних аварій, несприйняття радіоактивного випромінювання безпосередньо органами чуття людини, недостатня дослідженість впливу малих доз опромінення на нинішні та прийдешні покоління стало підґрунтям негативного відношення громадськості до ядерної енергетики.

Найбільш потужний європейський ЯЕК Франції розвивався до початку нинішнього тисячоліття. Діючі ядерні потужності (ОНС) у 2003 р. сягнули 61 370 МВт(е). Цей показник практично незмінний протягом 20 років. Натомість вироблення електроенергії на АЕС (NEG) Франції за 20 років зменшилося на 20 %.

Від 2010 р. у США при скороченні кількості реакторів від 104 до 92 ОНС зменшилося майже на 10 %, а виробництво електроенергії на АЕС – на 5 %.

Натомість у Китаї спостерігається стійке експоненційне зростання ядерно-енергетичних потужностей: на 76 реакторах (ОНС 50,0 ГВт(е)) у 2021 р. NEG досягло 383,2 ТВт год.

З 58 реакторів, що знаходяться в стадії будівництва переважна більшість (65,5 %) розташована в Азійських країнах, найбільше (36 %) – у Китаї. На Європейському континенті будується 13 реакторів (22 %),

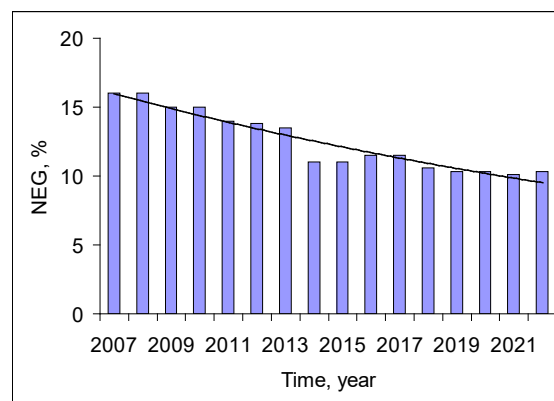


Рис. 7. Частка електроенергії, згенерована ядерними реакторами (NEG) у світовому виробництві. Тренд розраховано відповідно до бази даних IAEA [7]

Fig. 7. The global share of Nuclear Electricity Generation. Trend is calculated according to IAEA database [7]

у тому числі 8 (14 %) – у країнах ЄС. На американському континенті будується 4 реактора (7 %), в тому числі 2 – у США, у країнах Африки – 3 (5 %).

Цікаво відзначити, що більше половини (53 %) реакторів будуються в країнах з авторитарним режимом (показник індексу демократії < 4), 14 % – у країнах з перехідним (гібридним) режимом (4–6), близько 21 % – у країнах «неповної демократії» (6–8) та 12 % у повністю демократичних країнах (> 8 за десятибальною шкалою). Виявлено також слабку значиму негативну кореляцію між величиною показника індекса демократії [20] та кількістю і потужністю реакторів, що будуються ($K_{\text{кор.}} \sim -0,3$).

Незважаючи на те, що за оптимістичним прогнозом МАГАТЕ частка електроенергії, виробленої на АЕС, зросте до 12 % у 2050 р. [21], статистичний аналіз даних за останні 15 років вказує на достовірний ($R^2 = 0,91$) стійкий спадаючий експоненційний тренд (рис. 7). У разі збереження цієї тенденції у 2050 р. ця частка зменшиться до 4 % (песимістичний прогноз МАГАТЕ – 6 %), а до 2077 р. становитиме близько 1,5 %, що добре узгоджується з прогнозованим 99 % вичерпанням можливостей нині застосовуваної технології (див. табл. 1).

Висновки. Проаналізовано сучасний розвиток атомної енергетики, фактичні та майбутні тенденції її розвитку з використанням актуальних баз даних МАГАТЕ та Всесвітньої ядерної асоціації. Графічна інтерпретація отриманих часових трендів зростання світових діючих ядерних потужностей являє собою лінійну проекцію завершеного витка спіралі розвитку. Виположування кривої розвитку ядерної енергетики на початку третього тисячоліття приводить до висновку, що подальший розвиток ядерної галузі в паритеті зі зростанням енергетичних потреб вимагає «технологічного стрибка».

Сучасна атомна енергетика головним чином представлена легководними реакторами PWR, на яких вироблено 67 % електроенергії та BWR (21 %). Прогноз інтегрального показника генерування електроенергії (IEG) ядерними реакторами на основі 50-річних даних свідчить, що їхніх технологічних можливостей ймовірно будуть вичерпані до кінця нинішнього століття (99 % – у 2077 р.).

Майже 70 % ядерних реакторів, що експлуатуються в світі, виробило свій нормативний ресурс (30 років). Враховуючи реактори з сучасними технологіями генерування електроенергії, що знаходяться у стадії будівництва, а також ті, що підлягають виведенню з експлуатації, протягом наступних 10 років слід очікувати двократний дефіцит ядерно-енергетичних потужностей. Збереження сучасних тенденцій динаміки глобальної частки електроенергії, що генерується на АЕС, призведе до її зниження до 4 % до 2050 р. та до 1,5 % до 2077 р., що узгоджується з прогнозованою оцінкою вичерпання технологічних можливостей сучасних реакторів.

Сучасні тенденції щодо виробництва урану свідчать про вичерпування сировинної бази ядерної енергетики. За їх збереження протягом 30 років виробництво може зменшитися вдвічі, а забезпечення потреб до 2040 р. становитиме 50 % від необхідного. У надрах України

зосереджено близько 2 % світових запасів урану, що забезпечить власні потреби на 100 років, запасів торію, як альтернативної сировини палива ядерних реакторів, вистачить на тисячоліття.

Високі темпи розвитку ядерної енергетики в 70-х – 80-х роках минулого століття не відповідали рівню її безпеки. Однією з причин уповільнення її розвитку є проблеми безпеки і вразливості ядерно-енергетичних установок. Розбіжність між розрахованими і спостережуваними ймовірностями важкої радіаційної аварії досягає двох порядків. Найбільш вразливими до терористичних актів є сховища відпрацьованого ядерного палива, яке містить понад 90 % техногенної радіоактивності на планеті. Унаслідок російського вторгнення в Україну з'явився новий вид тероризму – великодержавний ядерний тероризм, – що нагально потребує кардинальної перебудови світової системи ядерної безпеки.

Популяризація наукових досліджень, культура освіти та формування громадської думки істотною мірою впливають на розвиток ядерно-енергетичного комплексу. Розвиток ядерної енергетики у країнах з високим рівнем демократії стримується громадськістю. Серед реакторів, що будуються у світі, більше половини розташовано в країнах з авторитарним режимом. Встановлено наявність кореляційного зв'язку між величиною індексу демократії та кількістю і потужністю ядерних реакторів, що будуються.

Єдина відома на сьогодні технологія, яка дозволила б здійснити «технологічний прорив» в ядерній енергетиці, – термоядерний синтез. Однак малоімовірно, що вона буде реалізована у промислових масштабах протягом 50 років. В очікуванні нового ядерного реактора найбільш перспективними проєктами на перехідний період є впровадження малих модульних реакторів, які характеризуються високими темпами будівництва, більш високим рівнем безпеки та прийнятними техніко-економічними показниками. Перспективним видається також розвиток водневого енергетичного комплексу на базі ядерних реакторів.

Подяки. Дослідження виконувалася за грантом ERASMUS Пізанського університету (Project No 2021-1-IT02-KA131-HED-000005909, Contratti 121/2023 del 26.01.2023). Автори висловлюють глибоку подяку Prof. Rosa Lo Frano (DICI University of Pisa) за консультації, дискусію, зауваження та виправлення.

Acknowledgments. The research was supported by an ERASMUS grant from the University of Pisa (Project No. 2021-1-IT02-KA131-HED-000005909, Contratti 121/2023 del 26.01.2023). The authors express their deep gratitude to Prof. Rosa Lo Frano (DICI University of Pisa) for advice, discussion, comments and corrections.

Література

1. Ферми Е. Ядерные процессы при больших энергиях. *Успехи физических наук*. 1952. Т. 46, № 1. С. 71–95.
2. Zinn W. E. (1955). Fermi and Atomic Energy. *Review of Modern Physics* 27: 263–268. doi:10.1103/RevModPhys.27.263.

3. Энергетика: история, настоящее и будущее. Т. 3. Развитие тепловой и ядерной энергетики / под ред. И.Н. Карпа, И.Я. Сигала, Е.П. Домбровской. Киев, 2008. 528 с.
4. Кошарна О.П. Аварія на АЕС «Фукусіма-1» та її вплив на перспективи розвитку ядерної енергетики в Україні та світ. *Вісник експортного контролю*. 2011. № 2. С. 4–6.
5. Glossary of Terms in PRIS Reports. URL: <https://pris.iaea.org/PRIS/Glossary.aspx>.
6. World Nuclear Association. URL: <https://world-nuclear.org/>.
7. IAEA Power Reactor Information System. URL: <https://pris.iaea.org/>.
8. Долін В.В., Пушкар'ов О.В., Шраменко І.Ф. та ін. Тритій у біосфері.-Київ: Наукова думка, 2012.- 224 с.
9. Азаренков Н.А., Булавин Л.А., Залубовський І.І. Ядерная энергетика : учебное пособие. Харьков : ХНУ имени В.Н. Каразина, 2012. 535 с.
10. ITER: L'ÉNERGIE DE FUSION. URL: <https://www.iter.org/fr/accueil>.
11. Nuclear fusion. *Postnote*. January 2003. No 192. URL: <http://www.parliament.uk/post/pn192.pdf>.
12. Крылова В.П., Куличенко В.В. Обращение с отходами от переработки облученного ядерного горючего. *Атомная техника за рубежом*. 1974. № 2. С. 37.
13. Uranium 2020: Resources, Production and Demand. NEA (No 7551), IAEA, 2020. 484 p.
14. HSE Health and Safety Executive, Nuclear Directorate, Generic Design Assessment – New Civil Reactors Build, Step 3, PSA of the EDF and Areva UK EPR division 6, Assessment report n° AR 09/027-P, 2011.
15. Lévêque François. The risk of a major nuclear accident: calculation and perception of probabilities. 2013. fihal-00795152v2f. 39 p.
16. Benjamin K. Sovacool (2011). Contesting the Future of Nuclear Power: A Critical Global Assessment of Atomic Energy, World Scientific, 296 p.
17. IAEA Incident and Trafficking Database (ITDB). URL: <https://www.iaea.org/resources/databases/itdb>.
18. Dolin V., Kopylenko O., Zabulonov Yu. GLOBAL NUCLEAR THREATS CAUSED BY RUSSIA'S INVASION OF UKRAINE. *Geochemistry of Technogenesis*. 2022. No 7. P. 7–17.
19. Status and Trends in Spent Fuel and Radioactive Waste Management. IAEA Nuclear Energy Series No. NW-T-1.14 (Rev. 1). Vienna: IAEA, 2022. 102 p.
20. Democracy Index 2021. The China challenge. *The Economist Intelligence Unit Limited*, 2022. 85 p.
21. Energy, Electricity and Nuclear Power Estimates for the Period up to 2050: 2021 edition. Vienna : IAEA, 2021. 148 p.
- Modern Physics 27: 263–268. doi:10.1103/RevModPhys.27.263
3. Energetika: istoriya, nastoyashcheye i budushcheye. – T. 3. Razvitiye teplovy i yadernoy energetiki // pod red. I. N. Karpa, I. Ya. Sigala, Ye. P. Dombrovskoy. – K., 2008. – 528 s.
4. Kosharna O.P. Avariya na AES «Fukusima-1» ta yiyi vplyv na perspektyvy rozvytku yadernoyi enerhetyky v Ukraini ta svit // Visnyk eksportnoho kontrolyu. – 2011. – № 2. – S. 4–6.
5. Glossary of Terms in PRIS Reports // <https://pris.iaea.org/PRIS/Glossary.aspx>
6. World Nuclear Association // <https://world-nuclear.org/>
7. IAEA Power Reactor Information System // <https://pris.iaea.org/>
8. Dolin V.V., Pushkar'ov O.V., Shramenko I.F. ta in. Tritiy u biosferi [Tritium in the Biosphere] / Za red. E.V. Sobotovicha, V.V. Dolina. – K.: Nauk. dumka, 2012. – 224 s.
9. Azarenkov N. A., Bulavin L. A., Zalyubovskiy I.I., Kirichenko V. G., Neklyudov I. M., Shilyayev B. A. Yadernaya energetika: uchebnoye posobiye. – Khar'kov: KHNU imeni V. N. Karazina, 2012. – 535 s.
10. ITER: L'ÉNERGIE DE FUSION: <https://www.iter.org/fr/accueil>
11. Nuclear fusion // *Postnote*. – January 2003. – No 192: <http://www.parliament.uk/post/pn192.pdf>
12. Krylova V.P., Kulichenko V.V. Obrashcheniye s otkhodami ot pererabotki oblučennoho yadernogo goryuchego // *Atomnaya tekhnika za rubezhom*. – 1974. – № 2. – S. 37.
13. Uranium 2020: Resources, Production and Demand. – NEA (No 7551), IAEA, 2020. – 484 p.
14. HSE Health and Safety Executive, Nuclear Directorate, Generic Design Assessment – New Civil Reactors Build, Step 3, PSA of the EDF and Areva UK EPR division 6, Assessment report n° AR 09/027-P, 2011.
15. Lévêque François. The risk of a major nuclear accident: calculation and perception of probabilities. 2013. fihal-00795152v2f. – 39 p.
16. Benjamin K. Sovacool (2011). Contesting the Future of Nuclear Power: A Critical Global Assessment of Atomic Energy, World Scientific, 296 p.
17. IAEA Incident and Trafficking Database (ITDB) // <https://www.iaea.org/resources/databases/itdb>
18. Dolin V., Kopylenko O., Zabulonov Yu. GLOBAL NUCLEAR THREATS CAUSED BY RUSSIA'S INVASION OF UKRAINE // *Geochemistry of Technogenesis*. – 2022. No 7. P. 7–17.
19. Status and Trends in Spent Fuel and Radioactive Waste Management // IAEA Nuclear Energy Series No. NW-T-1.14 (Rev. 1). – Vienna: IAEA, 2022. – 102 p.
20. Democracy Index 2021. The China challenge // *The Economist Intelligence Unit Limited*, 2022. – 85 p.
21. Energy, Electricity and Nuclear Power Estimates for the Period up to 2050: 2021 edition. – Vienna: IAEA, 2021. – 148 p.

References

1. Fermi E. Yadernyye protsessy pri bol'shikh energiyakh // *Uspekhi fizicheskikh nauk*. – 1952. – T. 46, № 1. – S. 71–95.

2. Zinn W. E. (1955). Fermi and Atomic Energy // *Review of GLOBAL TENDENCIES IN NUCLEAR POWER ENGINEERING*

Dolin V.V., Zabulonov Yu.L., Kopylenko J.L., Shramenko I.F.

Dolin V.V., Dr. Sc. (Geol.), Prof., State Institution “The Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine”, Department of Civil and Industrial Engineering-University of Pisa, ORCID: 0000-0001-6174-2962, vdolin@ukr.net

Zabulonov Yu.L., Corresponding member of the NAS of Ukraine, Dr. Sc. (Eng.), Prof., State Institution “The Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine”, ORCID: 0000-0002-4517-9927, Zabulonov@nas.gov.ua

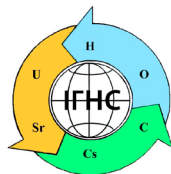
Kopylenko O.L., Academician of NAS of Ukraine, Dr. Sc. (Jur.), Prof., People's Deputy of Ukraine, ORCID: 0000-0003-2644-151X, Kopylenko@nas.gov.ua

Shramenko I.F., PhD (Geol.), State Institution “The Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine”, ORCID: 0000-0001-7746-2332, shramenko_ivan@ukr.net

The paper is devoted to the analytical inspection and parameterization of the dynamics of the world's nuclear energy complex from the first self-sustaining chain reaction to the present day. The rapid development of nuclear power in the 1970s and 1980s slowed down significantly at the beginning of the third millennium. The dynamics of increasing operational capacities is a linear unfolding of the completed turn of the spiral of development.

Almost 90 % of electricity in the nuclear power industry in 1970–2021 was generated by PWR and BWR light water reactors. It is expected that their technological resources will be exhausted by 99 % by 2077. If the current pace of development is maintained, the share of electricity generated by NPPs in the world by that time will decrease to 1,5 %. Nuclear power capacities in Europe and America are declining, while is developing in Asia, particularly in China, where almost 70 % of the nuclear power plants under construction are located. The rate of decline in uranium production indicates to by 2040 no more than half of the world's nuclear fuel demand will be met. Safety and security of the nuclear energy complex are considerably decreasing with the growth of reactor capacity, and the discrepancy between the calculated and observed probabilities of a severe radiation accident reaches two orders of magnitude. As a result of current manifestation of great-power nuclear terrorism, the global nuclear safety and security system needs to be overhauled. Further development of the nuclear energy requires a “technological leap”. At present, there is no technology available for widespread implementation that could increase nuclear reactor capacity by an order of magnitude without compromising nuclear safety, especially considering that fusion reactor technology is unlikely to be widely implemented in the next few decades. A technological bridge between existing and future developments could serve small modular reactors which in the short term could mitigate the energy supply shortage.

Key words: nuclear energy, reactor, pace of development, exhaustion of technological capabilities, raw material base, nuclear safety and security, fusion, small modular reactors.



DOI

УДК 504.054 (477)

Орлов О.О., Долін В.В., Чарний Д.В., Ярошук Д.О.

Орлов О.О., кандидат біологічних наук, Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», ORCID: 0000-0003-2923-5324, orlov.botany@gmail.com

Долін В.В., доктор геологічних наук, Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», ORCID: 0000-0001-6174-2962, vdolin@ukr.net

Чарний Д.В., доктор технічних наук, Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», ORCID: 0000-0001-6150-6433, dmitriyich10@gmail.com

Ярошук Д.О., Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», ORCID: 0000-0003-0190-8611

ОЧЕРЕТ ПІВДЕННИЙ (*PHRAGMITES AUSTRALIS* (CAV.) TRIN. EX STEUD.) ЯК БІОАКУМУЛЯТОР FE, MN, CU НА БІОІНЖЕНЕРНИХ СПОРУДАХ ПОЛТАВСЬКОГО ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНОГО КОМБІНАТУ

Метою дослідження була оцінка загальної фітомаси очерету на одиницю площі кожної біоінженерної споруди (БІС), її розподіл між надземною та підземною частинами, біологічне поглинання низки важких металів (Fe, Mn, Cu) фітомасою очерету загалом і його окремими органами. Об'єктами дослідження були біогеоценози очерету, а предметом – фітомаса очерету на одиницю площі та концентрація важких металів (Fe, Mn, Cu) у його органах на кожній біоінженерній споруді. Дослідження проведено в липні 2021 року на території шести біоінженерних споруд Полтавського гірничо-збагачувального комбінату, куди закачуються освітлені стічні води. На кожній біоінженерній споруді закладали 5 облікових ділянок, де рахували кількість особин очерету, кількість пагонів, відбирали зразки органів. Розрахунки фітомаси очерету проводили в межах кожної біоінженерної споруди: для одного пагона; однієї особини; заростей очерету на одиниці площі (м², га). Вміст важких металів в органах очерету визначено після озолення за температури 300°C, методом емісійного спектрального аналізу за допомогою спектрографа ІСР-28.

Продемонстровано, що на всіх біоінженерних спорудах очерет характеризувався значною надземною фітомасою (т·га⁻¹): БІС-1-А – 11,1; БІС-1-Б – 9,2; БІС-2 – 10,6; БІС-3 – 29,7; БІС-4 – 15,4; БІС-5 – 13,8. Підземна фітомаса очерету значно перевищувала надземну (т·га⁻¹): БІС-1-А – 55,4; БІС-1-Б – 50,2; БІС-2 – 72,5; БІС-3 – 232,8; БІС-4 – 106,5; БІС-5 – 79,0. Частка підземної та надземної фітомаси в очереті становила: на БІС-1-А – 83,3 та 16,7%; БІС-1-Б – 84,5 і 15,5%; БІС-2 – 87,2 і 12,8%; БІС-3 – 88,7 і 11,3%; БІС-4 – 87,4 та 12,6%; БІС-5 – 85,1 та 14,9% відповідно.

На всіх біоінженерних спорудах спостерігалася загальна закономірність – значно вищий вміст Fe в підземних органах, ніж у надземних. Діапазон вмісту Fe на різних біоінженерних спорудах становив (мкг·кг⁻¹): стебла – 143 ± 13–225 ± 20; листя – 529 ± 50–1 000 ± 95; суцвіття – 67 ± 7–273 ± 30; кореневища з коренями – 3 584 ± 342–6 700 ± 655. Ранжований ряд органів очерету за вмістом Fe мав такий вигляд: корені > листя > суцвіття > стебло. Діапазон вмісту Mn на різних біоінженерних спорудах становив (мкг·кг⁻¹): стебла – 14 ± 1–100 ± 10; листя – 75 ± 8–385 ± 35; суцвіття – 13 ± 1–96 ± 10; кореневища з коренями – 137 ± 13–700 ± 63. Ранжований ряд органів очерету за вмістом Mn є аналогічним такому для Fe. Середній вміст Cu в органах очерету був на порядок меншим у порівнянні з Mn і на два-три порядки меншим порівняно з Fe. Діапазон вмісту Cu на різних біоінженерних спорудах становив (мкг·кг⁻¹): стебла – 3 ± 0,2–7 ± 0,7; листя – 2 ± 0,2–8 ± 0,8; суцвіття – 4 ± 0,4–9 ± 0,9; кореневища з коренями – 5 ± 0,5–23 ± 2,5. Зроблено висновок, що підземна фітомаса очерету – багаторічні кореневища з коренями – має визначальний вплив на акумуляцію всіх досліджених важких металів у загальній фітомасі очерету.

Ключові слова: очерет, органи рослини, фітомаса надземна, фітомаса підземна, Fe, Mn, Cu, вміст важких металів.

Вступ. Біогеоценози розташовані на території Полтавського гірничо-збагачувального комбінату (далі – ГЗК), у штучних wetlands біоінженерних споруд (далі – БІС). Їхнє ложе заповнене амфіболітовим щебенем фракції 50–80 мм. Через БІС прокачуються мінералізовані освітлені води, які профільтрувались через дамбу хвостосховища у дренажний канал, рівень води – від 0 до –2 – –5 см від денної поверхні. Проектні витрати води на БІС становлять 70 тис. м³·добу⁻¹, але фактичні витрати сильно варіюють. На картах БІС

був штучно висаджений очерет південний (*Phragmites australis* (Cav.) Trin ex Steud.) (далі – очерет), який сформував практично моновидові зарості, асоціації *Phragmitetum australis* Savič 1926. Улітку 2020 р. на частині БІС було проведено суцільне косіння очерету (БІС-2, БІС-3, БІС-4). Біологічне очищення води від важких металів відбувається переважно мікробоценозом у ризосферній зоні очерету та на поверхні щебеня субстратів, менше значення має біоакумуляція важких металів фітомасою очерету. Становить інтерес

формування фітомаси, біологічне поглинання очеретом важких металів, їх розподіл за органами рослини.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. За даними [2; 7; 8], у помірних широтах надземна фітомаса очерету значно коливається залежно від умов місцезростання – від 5 до 57 т/га. Співвідношення в очерету фітомаси листя до стебел дорівнює 0,30 до 12,4, що свідчить про значне переважання в надземній фітомасі саме стебел. Дослідниками [3; 5] показано, що в загальній фітомасі очерету переважає підземна фітомаса – кореневища з коренями, надземна фітомаса є в 5–7 разів меншою. Продемонстровано [1], що очерет південний має виражену здатність до запасання значної кількості елементів живлення в листі та тканинах кореневищ: азоту – 12,33 мг·г⁻¹, фосфору – 1,52 мг·г⁻¹, калію – 13,92 мг·г⁻¹; інших елементів: натрію – 0,71 мг·г⁻¹; кальцію – 2,78 мг·г⁻¹; магнію – 0,67 мг·г⁻¹; заліза – 0,17 мг·г⁻¹; марганцю – 0,13 мг·г⁻¹. Дослідниками [4] хімічні елементи за характером сезонної динаміки у фітомасі очерету поділено на 2 групи: 1 – N, P, K, S, Cl, Cu, вміст яких зменшується протягом вегетації – з весни до осені; 2 – Ca, Mg, Na, Fe, Mn, вміст яких збільшується з весни до осені.

Мета дослідження. Метою дослідження була оцінка загальної фітомаси очерету на одиниці площі кожної БІС, її розподіл між надземною та підземною частинами, біологічне поглинання низки важких металів (Fe, Mn, Cu) фітомасою очерету загалом і його окремими органами.

Об'єкти та методи дослідження. Об'єктом досліджень були біогеоценози очерету, а предметом – фітомаса очерету на одиниці площі та концентрація важких металів (Fe, Mn, Cu) у його органах на кожній БІС.

Дослідження проведено в липні 2021 р. на території шести карт БІС Полтавського ГЗК, куди закачуються освітлені стічні води. На кожній БІС закладали 5 облікових ділянок, площею 1 м² кожна, де рахували кількість особин очерету та кількість пагонів. З кожної облікової ділянки зрізали по 5 генеративних пагонів очерету. Фітомасу кожного пагона розділяли на стебло, листки, суцвіття. На одній обліковій ділянці на кожній БІС розкопували всі яруси кореневищ та відбирали їх зразки. Зразки органів очерету етикетували та пакували в поліетиленові пакети. У лабораторних умовах фітомасу органів очерету поверхнево відмивали, подрібнювали на шматочки 3–5 см завдовжки та висушували в сушильній шафі до повітряно сухої маси за температури 80°C протягом 72 год. Після висушування зразки зважували на вагах лабораторних ВЛТ-200. Розрахунки фітомаси очерету проводили в межах кожної БІС: для одного пагона; однієї особини; заростей очерету на одиниці площі (м², га). Вміст важких металів в органах очерету визначено в лабораторії спектрального аналізу Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України: після озолення за температури 300°C, методом емісійного спектрального аналізу за допомогою спектрографа ІСР-28. Межі чутливості: для Cu, Mn – 0,0001 мг·кг⁻¹; Fe – 0,001 мг·кг⁻¹. Для всіх досліджених параметрів розраховано прості статистики за [6].

Виклад основного матеріалу дослідження. На всіх БІС виявлено переважання підземної фітомаси

в загальній фітомасі особин очерету, що добре корелює з раніше опублікованими даними [3; 5]. Зокрема, на БІС-1-А підземна, надземна та загальна фітомаса дорівнювали 988,52, 198,18 і 1 186,70 г·м⁻² відповідно; БІС-1-Б – 837,37, 153,69 та 990,97 г; БІС-2 – 883,96, 129,76 і 1 013,72 г; БІС-3 – 1 088,08, 138,62 та 1 226,70 г; БІС-4 – 700,65, 101,01 та 801,66 г; БІС-5 – 1 361,94, 238,46 і 1 600,40 г відповідно. Виявлено, що на тих БІС, де не проводили косіння фітомаси, загальна фітомаса особин очерету була значно більшою порівняно з тими БІС, де косіння проводили (БІС-2, БІС-3, БІС-4), що свідчить про деяке виснаження особин очерету після проведення згаданого заходу. Розподіл загальної фітомаси особин очерету на надземну та підземну на різних БІС наведено нижче (рис. 1). Однак на фітомасу очерету на кожній БІС також істотно впливають такі параметри, як кількість особин очерету та кількість його пагонів на одиниці площі БІС. Показано, що на БІС, де косіння не проводили, кількість особин (шт.·м⁻²) і кількість пагонів (шт.·м⁻²) дорівнювали: на БІС-1-А – 6 ± 0,9 та 19 ± 1,2 відповідно; БІС-1-Б – 6 ± 0,4 та 19 ± 1,0; БІС-5 – 6 ± 0,4 та 51 ± 3,7; на БІС, де очерет косили: БІС-2 – 8 ± 0,7 та 57 ± 2,6; БІС-3 – 21 ± 1,6 та 62 ± 2,6; БІС-4 – 15 ± 1,6 та 94 ± 4,3 відповідно. Отже, продемонстровано, що ці показники є значно більшими на БІС, де проводили косіння, – унаслідок підсилення вегетативного розмноження виду шляхом формування додаткових горизонтальних кореневищ, а на їх закінченнях – нових парціальних кущів (особин) очерету.

За наявності таких вхідних параметрів, як середня кількість пагонів очерету на 1 м² та середня маса одного генеративного пагона, можна розрахувати надземну фітомасу очерету на одиниці площі. Виявлено, що на всіх БІС очерет характеризувався значною надземною фітомасою (т·га⁻¹): БІС-1-А – 11,1; БІС-1-Б – 9,2; БІС-2 – 10,6; БІС-3 – 29,7; БІС-4 – 15,4; БІС-5 – 13,8, що добре узгоджується з даними інших дослідників [2; 7]. Підземна фітомаса очерету значно перевищувала надземну (т·га⁻¹): БІС-1-А – 55,4; БІС-1-Б – 50,2; БІС-2 – 72,5; БІС-3 – 232,8; БІС-4 – 106,5; БІС-5 – 79,0, це у відсотках представлено на рис. 1.

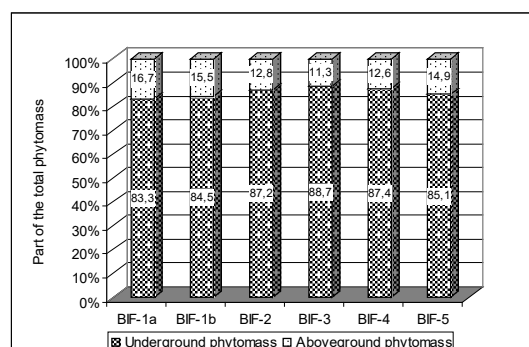


Рис. 1. Розподіл загальної фітомаси особин очерету на надземну та підземну частини на різних біоінженерних спорудах (БІС)

Fig. 1. Distribution of the total phytomass of reed individuals on aboveground and underground parts on different bio-engineering facilities (BIF)

Акумуляція кожного з досліджених важких металів очеретом на конкретних БІС визначалася низкою чинників: величиною загальної фітомаси очерету на одиниці площі; її розподілом за органами; концентрацією конкретного важкого металу у воді, яка надходить до БІС; затриманням металу субстратом із мікробіоценозом включно; інтенсивністю акумуляції конкретного важкого металу в органах очерету; швидкістю біогенної деструкції фітомаси очерету; співвідношенням акумуляції у фітомасі очерету та повернення до субстрату якогось важкого металу, накопиченого фітомасою.

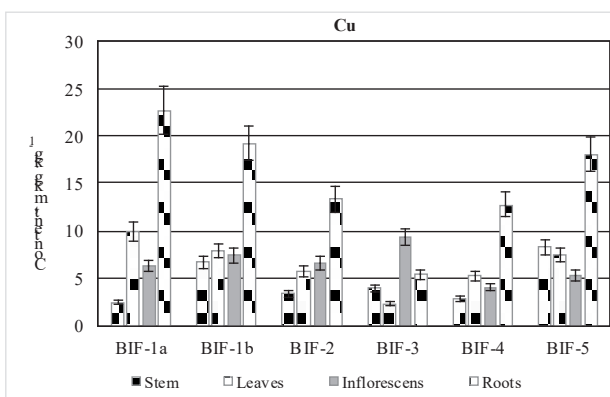
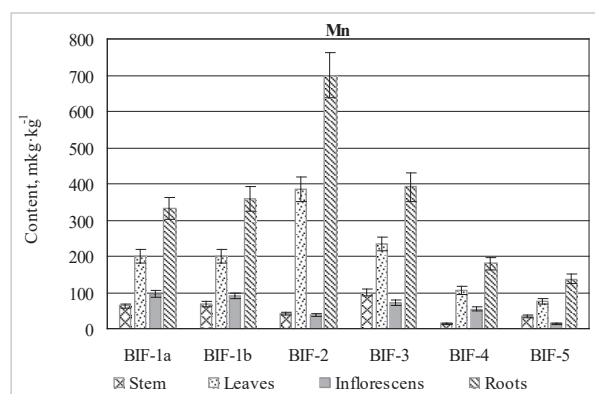
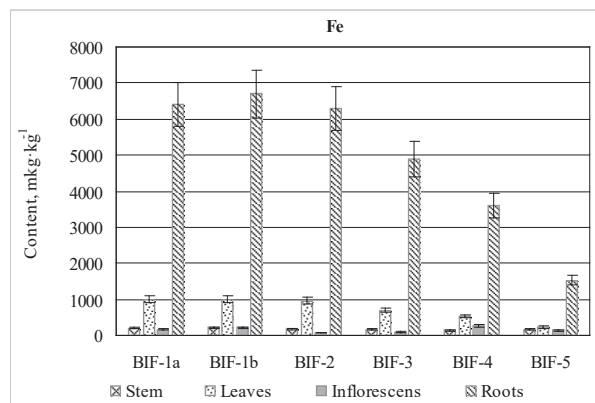


Рис. 2. Середній вміст важких металів в органах очерету на різних біоінженерних спорудах (БІС)

Fig. 2. Average content of heavy metals in organs of reed on different bioengineering facilities (BIFs)

З метою біогеохімічної оцінки ролі очерету в затриманні важких металів на кожній БІС було вивчено вміст Fe, Mn, Cu на одиницю маси органів очерету (рис. 2).

Результати аналізів продемонстрували, що на всіх БІС спостерігалася загальна закономірність – вміст Fe в підземних органах значно вищий, ніж у надземних. Діапазон вмісту Fe на різних БІС такий (мкг·кг⁻¹): стебла – 143 ± 13 – 225 ± 20 ; листя – 529 ± 50 – $1\ 000 \pm 95$; суцвіття – 67 ± 7 – 273 ± 30 ; кореневища з коренями – $3\ 584 \pm 342$ – $6\ 700 \pm 655$. Ранжований ряд органів очерету за вмістом Fe зазвичай має такий вигляд: корені > листя > суцвіття > стебло. Причому листя завжди стоїть на другому місці, а суцвіття на частині БІС поступаються стеблам (БІС-2, БІС-3, БІС-5). Різниця вмісту Fe в підземній фітомасі та листі сягає: на БІС-1-А – 6,4 раз; БІС-1-Б – 6,7 раз; БІС-2 – 6,5 раз; БІС-3 – 7,0 раз; БІС-4 – 6,8 раз; БІС-5 – 6,8 раз.

Виявлено, що вміст Mn в органах очерету на всіх БІС був значно нижчим (у 2–10 разів), ніж у Fe, однак спостерігалася подібна до Fe загальна закономірність – вміст Mn в підземних органах був вищий, ніж у надземних. Діапазон вмісту Mn на різних БІС становив (мкг·кг⁻¹): стебла – 14 ± 1 – 100 ± 10 ; листя – 75 ± 8 – 385 ± 35 ; суцвіття – 13 ± 1 – 96 ± 10 ; кореневища з коренями – 137 ± 13 – 700 ± 63 . Ранжований ряд органів очерету за вмістом Mn зазвичай є аналогічним такому для Fe, він має такий вигляд: корені > листя > суцвіття > стебло. Листя також завжди стоїть на другому місці, а суцвіття на частині БІС поступаються стеблам (БІС-2, БІС-3, БІС-5). Різниця вмісту Mn у підземній фітомасі та листі сягає: на БІС-1-А – 1,7 раз; БІС-1-Б – 1,8 раз; БІС-2 – 1,8 раз; БІС-3 – 1,7 раз; БІС-4 – 1,7 раз; БІС-5 – 1,8 раз.

Аналіз вмісту в різних органах очерету такого високотоксичного металу, як Cu, становить значний практичний інтерес (рис. 2). Загалом, варто відзначити на порядок менші значення середнього вмісту Cu у всіх органах очерету порівняно з Mn і на два порядки менші порівняно з Fe. Діапазон вмісту Cu на різних БІС становив (мкг·кг⁻¹): стебла – $3 \pm 0,2$ – $7 \pm 0,7$; листя – $2 \pm 0,2$ – $8 \pm 0,8$; суцвіття – $4 \pm 0,4$ – $9 \pm 0,9$; кореневища з коренями – $5 \pm 0,5$ – $23 \pm 2,5$. Аналіз даних на рис. 2 демонструє різноманітність ранжованих рядів органів очерету за вмістом Cu. Зокрема, на БІС-1-А, БІС-1-Б, БІС-4 ранжований ряд органів очерету за вмістом Cu був таким: корені > листя > суцвіття > стебло. На БІС-2 ранжований ряд був таким: корені > суцвіття > листя > стебло; на БІС-3: суцвіття > корені > стебло > листя; на БІС-5: корені > стебло > листя > суцвіття.

Наведене вище дозволяє стверджувати, що підземна фітомаса очерету – багаторічні кореневища з коренями – має визначальний вплив на акумуляцію всіх досліджених важких металів фітомасою очерету.

З огляду на те, що максимальні концентрації важких металів є характерними для підземної фітомаси очерету, а також те, що в даного виду переважає підземна фітомаса, валовий запас важких металів зосереджений саме в ній, що потребує детальних досліджень на кількісному рівні.

Пілотні дослідження 2021 р. показали, що найбільшим запасом Fe в підземних органах на одиниці площі характеризувалася БІС-3 – 114 096 мкг·м⁻², а найменшим БІС-5 – 12 086 мкг·м⁻²; запас Mn у підземних органах на одиниці площі був максимальним на БІС-3 – 9 128 мкг·м⁻², а мінімальним на БІС-5 – 1 084 мкг·м⁻²; запас Cu у підземних органах на одиниці площі був максимальним на БІС-4 – 136 мкг·м⁻², а мінімальним на БІС-1-Б і БІС-2 – 96 мкг·м⁻². Розрахунки продемонстрували, що в загальній фітомасі очерету частка валового запасу важких металів у підземній фітомасі коливалася в межах: Fe – 98,0–99,2%, Mn – 94,1–97,5%, Cu – 91,6–96,2%.

Висновки. 1. Виявлено, що на тих БІС, де не проводили косіння фітомаси (БІС-1-А, БІС-1-Б, БІС-5), загальна фітомаса середньої особини очерету була значно більшою порівняно з тими БІС, де косіння проводили (БІС-2, БІС-3, БІС-4), що свідчить про деяке виснаження особин очерету внаслідок проведення згаданого заходу.

2. Продемонстровано, що кількість особин (шт.·м⁻²) і кількість пагонів (шт.·м⁻²) є значно більшими на БІС, де проводили косіння, – переважно завдяки активізації вегетативного розмноження очерету шляхом формування додаткових горизонтальних кореневищ, а на їх закінченнях – нових парціальних кущів (особин) рослини.

3. Показано, що на всіх БІС очерет характеризувався значною надземною фітомасою (т·га⁻¹): БІС-1-А – 11,1; БІС-1-Б – 9,2; БІС-2 – 10,6; БІС-3 – 29,7; БІС-4 – 15,4; БІС-5 – 13,8.

4. Підземна фітомаса очерету значно перевищувала надземну (т·га⁻¹): БІС-1-А – 55,4; БІС-1-Б – 50,2; БІС-2 – 72,5; БІС-3 – 232,8; БІС-4 – 106,5; БІС-5 – 79,0.

4. Розрахунки показали, що в загальній фітомасі очерету частка підземної фітомаси коливалася в межах 83,3–88,7%, а надземної – 11,3–16,7%.

5. На всіх БІС спостерігалася загальна закономірність – значно вищий вміст Fe в підземних органах, ніж у надземних. Діапазон вмісту Fe на різних БІС становив (мкг·кг⁻¹): стебла – 143 ± 13 – кореневища з коренями – 3 584 ± 342–6 700 ± 655. Ранжований ряд органів очерету за вмістом Fe має такий вигляд: корені > листя > суцвіття > стебло.

6. Виявлено, що вміст Mn в органах очерету на всіх БІС був значно нижчим (у 2–10 разів), ніж у Fe, спостерігалася подібна до Fe загальна закономірність – вміст Mn в підземних органах був вищий, ніж у надземних. Діапазон вмісту Mn на різних БІС такий (мкг·кг⁻¹): стебла – 14 ± 1 – кореневища з коренями – 137 ± 13–700 ± 63. Ранжований ряд органів очерету за вмістом Mn зазвичай є аналогічним такому для Fe.

7. Середній вміст Cu в органах очерету був на порядок менший порівняно з Mn і на два-три порядки меншим порівняно з Fe. Діапазон вмісту Cu на різних БІС такий (мкг·кг⁻¹): листя – 2 ± 0,2 – кореневища з коренями – 5 ± 0,5–23 ± 2,5. На різних БІС спостерігалася різноманітність ранжованих рядів органів очерету за вмістом Cu.

8. Підземна фітомаса очерету – багаторічні кореневища з коренями – має визначальний вплив на акумуляцію всіх досліджених важких металів фітомасою очерету. Для Fe її частка дорівнює 98,0–99,2%, Mn – 94,1–97,5%, Cu – 91,6–96,2%.

Перспективи подальших досліджень

У цьому дослідженні коротко наведено загальну фітомасу очерету та її розподіл між надземною та підземною фітомасою на кожній БІС. За наявності концентрації Fe, Mn, Cu у всіх органах очерету, об'єднавши їх з даними відповідних фітомас, можна отримати валовий запас згаданих важких металів у фітоценозі очерету на кожній БІС, а також її розподіл між надземною та підземною фітомасою. Важливим також є розрахунок коефіцієнта біологічного поглинання очеретом цих металів зі щербеного субстрату, а також стічних вод.

Література

1. Auclair A.N.D. Factors affecting tissue nutrient concentrations in a Scirpus-Equisetum wetland. *Ecology*. 1979. № 60. P. 337–348.
2. Björk S. Ecological investigations of Phragmites communis: studies in theoretic and applied limnology. *Folia Limnol. Scand.* 1967. № 14. P. 1–248.
3. Dykyjova D., Hradecka D. Production ecology of Phragmites communis. 1. Relation of two ecotypes to the microclimate and nutrient conditions of habitat. *Folia geobotanica and phytotaxonomica*. 1976. № 11 (1). P. 23–61.
4. Hocking P. Seasonal dynamics of production, and nutrient accumulation and cycling by Phragmites australis (Cav.) Trin. ex Stuedel in a nutrient-enriched swamp in inland Australia. II. Individual shoots. *Aust. J. Mar. Freshwater Res.* 1989. № 40. P. 445–464.
5. Husak S. Control of reed and reed mace by cutting. *Pond and littoral ecosystems*. 1978. № 14. P. 404–408.
6. Лакін Г.Ф. Биометрия. Москва: Высшая школа, 1973. 293 с.
7. The accumulation and distribution of metals in water, sediment, aquatic macrophytes and fishes of the Gruža Reservoir, Serbia / A. Milošković et al. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 2013. DOI: 10.1007/s00128-013-0969-8.
8. Packer J.G. Phragmites australis. Biological flora of British Isles. *Journal of Ecology*. 2017. № 105. P. 1123–1162.

References

1. Auclair, A.N.D. (1979), Factors affecting tissue nutrient concentrations in a Scirpus-Equisetum wetland. *Ecology*, 60: 337–348.
2. Björk, S. (1967), Ecological investigations of Phragmites communis: studies in theoretic and applied limnology. *Folia Limnol. Scand.*, 14: 1–248.
3. Dykyjova, D., Hradecka, D. (1976), Production ecology of Phragmites communis. 1. Relation of two ecotypes to the microclimate and nutrient conditions of habitat. *Folia geobotanica and phytotaxonomica*, 11 (1): 23–61.
4. Hocking, P. (1989), Seasonal dynamics of production, and nutrient accumulation and cycling by Phragmites australis (Cav.) Trin. ex Stuedel in a nutrient-enriched swamp in inland Australia. II. Individual shoots. *Aust. J. Mar. Freshwater Res.*, 40: 445–464.
5. Husak, S. (1978), Control of reed and reed mace by cutting. *Pond and littoral ecosystems*, 14: 404–408.
6. Lakin, G.F. (1973), Biometry. M.: Higher School, 348 p.
7. Milošković A., Branković S., Simić V., Kovačević S., Cirković M., Manojlović D. (2013), Serbia. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. DOI:10.1007/s00128-013-0969-8.
8. Packer, J.G. (2017), Phragmites australis. Biological flora of British Isles. *Journal of Ecology*, 105: 1123–1162.

COMMON REED (*PHRAGMITES AUSTRALIS* (CAV.) TRIN. EX STEUD.) AS BIOACCUMULATOR OF FE, MN, CU ON BIO-ENGINEERING FACILITIES OF POLTAVSKY MINING AND PROCESSING PLANT

Orlov O.O., Dolin V.V., Charny D.V., Yarochshuk D.O.

Orlov O.O., PhD (Biology), State Institution “The Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine”, ORCID: 0000-0003-2923-5324, orlov.botany@gmail.com

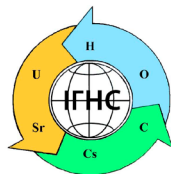
Dolin V.V., D. Sc. (Geology), State Institution “The Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine”, ORCID: 0000-0001-6174-2962, vdolin@ukr.net

Charny D.V., D. Sc. (Engineering), State Institution “The Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine”, ORCID: 0000-0001-6150-6433, dmitriych10@gmail.com

Yarochshuk D.O., State Institution “The Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine”, ORCID: 0000-0003-0190-8611

The goal of this study was evaluation of the total phytomass of reed per unit of square on each bio-engineering facilities (BIF), its distribution between aboveground and underground parts, biological uptake of some heavy metals (Fe, Mn, Cu) by the total reed phytomass and its separate organs. Objects of research were: reed biogeocenoses; subject of study – reed phytomass per square unit and content of heavy metals (Fe, Mn, Cu) in reed organs each BIF. Study was conducted in July 2021 on the territory of six BIF of Poltavsky Mining and Processing Plant, where clarified waste waters are pumped up. On each BIF 5 experimental plots were established, where number of reed's individuals, number of shoots per square unit were calculated and samples of reed's organs were collected. Calculation of reed's phytomass were conducted for each BIF: for 1 shoot, 1 individual, thickets of reed per square unit (m², ha). Content of heavy metals were measured after ashing at temperature 300°C, by the method of emissive spectrum analysis on spectrograph ICP-28. It was shown that on all BIF reed was characterized by significant aboveground phytomass (t·ha⁻¹): BIF-1a – 11,1; BIF-1b – 9,2; BIF-2 – 10,6; BIF-3 – 29,7; BIF-4 – 15,4; BIF-5 – 13,8. Values of underground phytomass significantly exceeded aboveground one (t·ha⁻¹): BIF-1a – 55,4; BIF-1b – 50,2; BIF-2 – 72,5; BIF-3 – 232,8; BIF-4 – 106,5; BIF-5 – 79,0. The parts of underground and aboveground phytomass of reed were: on BIF-1a – 83,3 and 16,7%; BIF-1b – 84,5 and 15,5%; BIF-2 – 87,2 and 12,8%; BIF-3 – 88,7 and 11,3%; BIF-4 – 87,4 and 12,6%; BIF-5 – 85,1 and 14,9% respectively. On all BIF general regularity was observed – significantly higher Fe content in underground organs than in aboveground ones. Range of Fe content on different BIF were (mkg·kg⁻¹): stems – 143 ± 13–225 ± 20; leaves – 529 ± 50–1 000 ± 95; inflorescens – 67 ± 7–273 ± 30; rhizomes with roots – 3 584 ± 342–6 700 ± 655. Ranged row of reed organs according with Fe content was: rhizomes with roots > leaves > inflorescens > stems. Range of Mn content on different BIF were (mkg·kg⁻¹): stems – 14 ± 1–100 ± 10; leaves – 75 ± 8–385 ± 35; inflorescens – 13 ± 1–96 ± 10; rhizomes with roots – 137 ± 13–700 ± 63. Ranged row of reed organs according with Mn content, as a rule, was the same as for Fe. Average Cu content in reed's organs was approximately in 10 times less in comparison with Mn, and in 100-1000 times less in comparison with Fe. Range of Cu content on different BIF were (mkg·kg⁻¹): stems – 3 ± 0,2–7 ± 0,7; leaves – 2 ± 0,2–8 ± 0,8; inflorescens – 4 ± 0,4–9 ± 0,9; rhizomes with roots – 5 ± 0,5–23 ± 2,5. It was made a conclusion that underground phytomass of reed – multiyear rhizomes with roots – has determining influence on accumulation of all investigated heavy metals by reed.

Key words: reed, plant organs, aboveground phytomass, underground phytomass, Fe, Mn, Cu, heavy metal content.

DOI
УДК 523.681

Ширінбекова С.Н.

Ширінбекова С.Н., кандидат геологічних наук, Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М.П. Семененка НАН України, ORCID: 0000-0003-3872-0399, svetlana_shirinbekova@ukr.net

ХІМІЧНИЙ СКЛАД І БУДОВА ПРОДУКТІВ ЗВІТРЮВАННЯ Fe,Ni-МЕТАЛУ ХОНДРИТА ГРУЗЬКЕ (H4)

Зі звітряними зернами Fe,Ni-металу (камаситу α -(Fe,Ni), теніту γ -(Fe,Ni), плеситу $\alpha+\gamma$ -(Fe,Ni)) звичайного хондрита Грузьке (H4) генетично пов'язані вторинні мікроструктури звітрювання: 1) оксидні оболонки; 2) оксидні прожилки; 3) псевдоморфози продуктів вивітрювання. У порожнистому просторі всередині деяких псевдоморфоз виявлені рідкісні мікроглобулярні корозійні продукти. Різноманітні структури звітрювання склалися з дисперсних сумішей вторинних оксигідроксидів заліза – гетиту α -FeO(OH) та гідрогетиту FeO(OH) \cdot nH₂O, які поширювалися з периферії всередину металевих зерен. Припускаємо наявність лепідокрокіту γ -FeO(OH). Гідроксиди заліза характеризуються: неоднорідним сірим забарвленням; різною будовою, наявністю заміщених ділянок плямистої, коломорфної, шаруватої будови; пористістю та зональністю; варіаціями вмісту FeO і NiO. До складу оксидної оболонки крупного зерна Fe,Ni-металу входять (середн. з 4-х ан., у дужках – межі вмісту, мас. %): FeO 82,7 (81,6–83,8); NiO 10,9 (10,4–11,7); SO₃ 4,88 (4,23–5,92); а також CoO 0,79 (до 1,31); CuO 0,14 (до 0,57); MnO 0,14 (до 0,54); MgO 0,16; K₂O + CaO 0,13; Cl 0,17 (до 0,26). Псевдоморфоза гідроксиду заліза містить (середн. із 3-х ан., межі – у дужках, мас. %): FeO 92,6 (92,1–93,0); NiO 3,5 (2,72–4,02); SiO₂ 3,86 (3,32–4,96); Cl 0,08 (до 0,24). Зазначені особливості генетично пов'язані з фазовою та хімічною неоднорідністю нікелістого заліза, з низьким вмістом Ni в α -(Fe,Ni), що зумовлює пріоритетне окиснення та заміщення камаситу та плеситу, порівняно з тенітом. Окиснення метеоритного Fe,Ni-металу відбувалося за участю води, на що вказує безпосередній просторовий зв'язок зерен нікелістого заліза з гідрогетитом. Суцільно звітрянні зерна Fe,Ni-металу, у яких втрачені первинні структурні та хімічні характеристики, варто обмежено використовувати для інтерпретації доземних процесів утворення речовини метеорита. Низький вміст Cl < 0,3 мас. % в оксигідроксидах заліза Fe є свідченням їхньої низької корозійної активності, через що буде гальмуватися подальша корозія та заміщення Fe,Ni-металу. Це запобігатиме окисненню та деградації речовини хондрита Грузьке під час лабораторного дослідження та зберігання метеоритного зразка.

Ключові слова: хондрит Грузьке, Fe,Ni-метал, гідроксид заліза, гетит, гідрогетит, псевдоморфоза, вивітрювання.

Вступ. Усебічне вивчення речовини метеоритів необхідне для розуміння ранньої історії Сонячної системи та законів еволюції космічної речовини, що тісно пов'язано з вирішенням питання про походження Землі [1]. Речовина метеоритів зазнавала змін на різних етапах своєї еволюції, за космічних і земних умов. Материнські тіла метеоритів формувалися у високовідновному, без- і маловодному космічному середовищі [1–3]. За окисних умов земної поверхні метеоритна речовина зазнає повільної деградації під впливом процесів вивітрювання [4]; зміни метеоритів зумовлені їхніми первинними структурно-мінералогічними та хімічними характеристиками [5]. Звітрювання нікелістого заліза (Fe,Ni) метеоритів відбувається за механізмом електрохімічної корозії [6]. За умов вологого помірно-континентального клімату Fe,Ni-метал заміщується на оксигідроксиди заліза – гетит α -FeO(OH), гідрогетит FeO(OH) \cdot nH₂O, лепідокрокіт γ -FeO(OH), а також на водний фосфат касидіт Ca₂Ni(PO₄)₂·2H₂O [4].

Детальне вивчення Fe,Ni-металу та продуктів його вивітрювання звичайного хондрита Грузьке (H4,

знахідка 2007 р., Кіровоградська область, Україна) дозволить зробити внесок у вирішення питання корозії та звітрювання, консервації та зберігання метеоритних зразків у лабораторіях і музейних колекціях.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Попередньо досліджувалися структурно-мінералогічні характеристики метеорита Грузьке [7], визначено його приналежність до високозалістистої H групи 4-го петрологічного типу [7], відповідно до хіміко-петрологічної класифікації хондритів [8]. Вивчалися структури ударного метаморфізму метеорита, ступінь якого відповідає S4 [7; 9]. За час перебування у ґрунтовому середовищі речовина хондрита досить помітно звітрянлася з поверхні та зсередини до стадії W2 [7], згідно із класифікацією стадій вивітрювання звичайних хондритів [10]. Наведено характеристику ознак корозії та заміщення Fe,Ni-металу та трюїліту FeS [11].

Мета дослідження. Мета роботи – на основі подальшого вивчення змін хімічного складу та будови звітрянених зерен Fe,Ni-металу деталізувати особливості

впливу природних умов на фази камаситу α -(Fe,Ni), теніту γ -(Fe,Ni) і плеситу $\alpha+\gamma$ -(Fe,Ni) та загалом на речовину цього метеорита.

На основі послідовної діагностики складу продуктів вивітрювання оцінити поширеність інертних і активних корозійних фаз, за необхідності скорегувати рекомендації щодо збереження зразка в метеоритній колекції Національного науково-природничого музею (далі – ННПМ) НАНУ.

Методи дослідження. Об'єкти дослідження: звітлі зерна Fe,Ni-металу хондрита Грузьке вивчалися в полірованому шліфі площею $\sim 2 \text{ см}^2$ за допомогою двох сканувальних електронних мікроскопів JSM-6490LV фірми JEOL (Японія), обладнаних енергодисперсійними спектрометрами (далі – ЕДС): 1) марки INCA Penta FETx3 Oxford Instruments (ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України»), 2) марки INCA Energy+ з енерго- та хвильодисперсійними спектрометрами (EDS + WDS, Oxford, Велика Британія, Інститут геологічних наук НАНУ). Електронно-мікроскопічне вивчення метеоритного зразка проведено у вторинних (SEI) і відбитих (BEC) електронах за напруги 20 V. З використанням ЕДС здійснено послідовну діагностику хімічного складу метеоритного металу та корозійних продуктів за напруги 30 кВ, з діаметром зонда 3 мкм.

Виклад основного матеріалу дослідження. Зерна Fe,Ni-металу вивченого зразка за ступенем вивітрювання поділено на незмінні, мало змінні, помірно та суцільно звітрілі, останні нерідко є порожнистими зсередини. Продукти вивітрювання (далі – ПВ) Fe,Ni-металу, за даними робіт [5; 7; 11], складаються з дисперсної суміші оксигідроксидів заліза – гетиту та гідрогетиту, які характеризуються неоднорідним забарвленням із варіаціями відтінків сірого кольору від світлого до темного, пористістю, коломорфною

будовою та зональністю. Унаслідок їхнього поширення з периферії всередину зерен утворилися локальні вторинні структури (рис. 1–3): а) оксидні оболонки (далі – ОО); б) оксидні прожилки (далі – ОПр); в) псевдоморфози (далі – Пс).

Зональні ОО спостерігалися в більшості зерен Fe,Ni-металу, в основному великих амєбоподібних зерен камаситу, меншою мірою навколо зонального теніту, також вони наявні вздовж фазової межі з мінеральними включеннями в нікелістому залізі. ОПр у Fe,Ni-металі розвинулися вздовж: деформаційних тріщин; кристалічних меж у полікристалічних зернах, нерідко з утворенням сіточки в них; фазової межі у зростках із FeS. Концентрично-зональну будову Пс зумовлено заміщенням зональних зерен теніту.

У результаті звітрювання крупного зерна Fe,Ni-металу неправильної форми розміром $\sim 0,8 \times 1,0 \text{ мм}$, що, очевидно, становить зросток α -(Fe,Ni) і γ -(Fe,Ni) (рис. 1, а), проявилися різні за будовою та розташуванням корозійні структури: ОО з периферії (рис. 1, а, д, е) та зсередини між металом і корозійною порожниною (далі – КП) (рис. 1, б), навколо включень силікатів у металі (рис. 1, в); дрібні периферійні заміщені ділянки овальної форми (рис. 1, г – е); псевдоморфне заміщення \sim третини площі на гідроксиди Fe плямистої (рис. 1, г), шаруватої, коломорфної будови [11]; а також велика КП усередині зерна (рис. 1, а, б).

Незмінений Fe,Ni-метал представлений камаситом, із середнім вмістом (мас. %): 92,1 Fe, 6,88 Ni (рис. 1, б, табл. 1). Оксидна оболонка хвилястої форми, що утворилася на межі α -(Fe,Ni) з КП, вигнута вбік металу. За складом (табл. 1, ОО) вона відповідає гідратованій фазі, очевидно, гідрогетиту, що містить дещо більше Ni порівняно з металом. Окрім того, припускаємо корозійну природу клиноподібних ділянок, наявних на металевій поверхні (рис. 1, б).

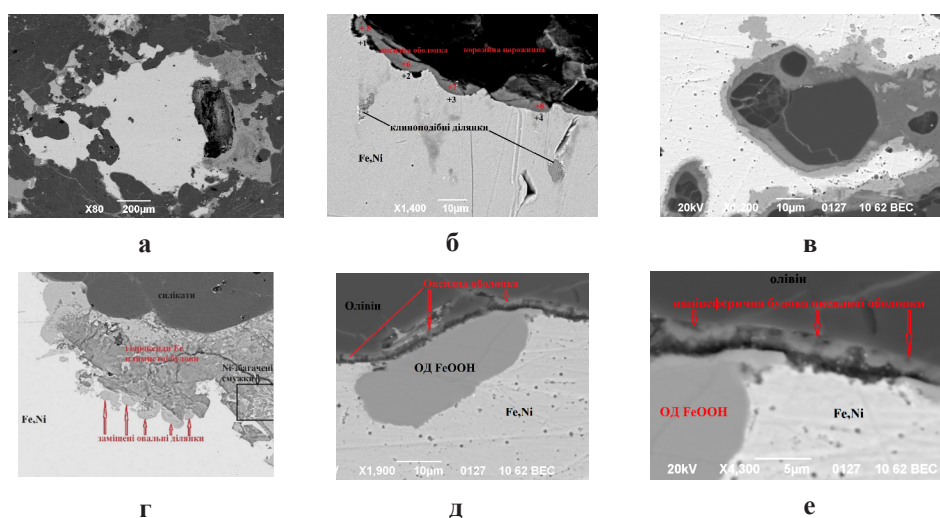


Рис. 1. Структури звітрювання крупного зерна Fe,Ni-металу хондрита Грузьке. Режим відбитих електронів

Fig. 1. Secondary weathering structures of a large grain of iron-nickel of the Gruz'ke chondrite. Backscattered electron image

Однорідна за будовою та забарвленням заміщена овальною ділянкою (далі – ОД) (рис. 1, д) складається, найвірогідніше, із суміші гідратованих оксидів заліза α -FeO(OH) та FeO(OH)·nH₂O, містить постійну концентрацію FeO (табл. 2). За підвищенням середнім вмістом Ni 8,12 мас. % та його варіаціями, за вмістом Co, що є збіжним із таким у незміненому металі, зроблено висновок про утворення ОД в результаті заміщення α -(Fe,Ni) та α + γ -(Fe,Ni).

Виявлено напівсферичну будову вторинної ОО (рис. 1, д, е), що виникла внаслідок заповнення гідроксидами заліза тріщини між зерном Fe,Ni-металу та суміжним із ним олівіном. Дослідниками спостерігалися жилки гетиту та гідрогетиту, що проникли вздовж тріщин зламу катаклазованих ділянок, тріщин спайності та поміж зернами силкатів у речовині звітрілого хондрита Северный Колчим [4]. Утворення концентрично-зональної структури таких жилок зумовлено груповим ростом сферолітів гетиту на нерівній поверхні стінок метеорита, на яких відбувався геометричний відбір сферолітів [4]. Припускаємо, що напівсферичні гідроксиди Fe

в ОО звітрілого Fe,Ni-металу хондрита Грузьке утворилися за тим же законом. Відмінність між хімічним складом ОД та ОО (табл. 2) можна пояснити з урахуванням способу утворення корозійних продуктів, відповідно, безпосереднім заміщенням металевих зерен та шляхом проникнення їх уздовж тріщин. Наявність Mg і Si у складі напівсферолітів (табл. 2, ОО) зумовлена їх захопленням під час вимірювання із суміжного зерна олівіну, оскільки ширина ОО ~ 3,33 мкм у точці аналізу є збіжною з діаметром зонда.

Зерна Fe,Ni-металу складної будови зазнали значного звітрювання з утворенням зональних гідроксидів заліза (рис. 2, а-в).

Залишковий метал, що представлений α -(Fe,Ni) фазою (рис. 2, б, табл. 3, ЗНЗ), унаслідок вибіркового заміщення набув корозійної полігональної форми. Хімічний аналіз показав зниження концентрації заліза у темно-сірій фазі продуктів вивітрювання, порівняно з світло-сірою вторинною фазою. Це дозволяє зробити висновок про роль вологи у корозії метеоритного металу.

Таблиця 1. Хімічний склад (мас. %) незміненого Fe,Ni-металу й оксидної оболонки (ОО) на межі з корозійною порожниною крупного звітрілого зерна нікелістого заліза, полірований шліф хондрита Грузьке

Table 1. Chemical composition (wt.%) of unaltered Fe-Ni metal and oxide rim (OR) on the boundary with corrosion cavity within the large weathered grain of iron-nickel, the polished section of the Gruz'ke chondrite

	Fe,Ni	Fe,Ni	OO (OR)	OO (OR)	OO (OR)	OO (OR)	OO (OR)
	Межі (ан. 1–4)	Середнє (4)	Межі (ан. 5–8)	Середнє (4)		Межі (ан. 5–8)	Сер. (4)
Fe	91,4–92,7	92,1	56,1–60,3	58,3	FeO	81,6–83,8	82,7
Ni	6,51–7,34	6,88	7,25–8,57	7,71	NiO	10,4–11,7	10,9
Co	Н. в. – 1,54	0,87	Н. в. – 0,93	0,57	CoO	Н. в. – 1,31	0,79
Cu	Н. в.	Н. в.	Н. в. – 0,40	0,1	CuO	Н. в. – 0,57	0,14
Mn	Н. в. – 0,30	0,08	Н. в. – 0,38	0,1	MnO	Н. в. – 0,54	0,14
S	Н. в. – 0,22	0,06	1,5–2,04	1,73	SO₃	4,23–5,92	4,88
Mg	Н. а.	Н. а.	Н. в. – 0,31	0,08	MgO	Н. в. – 0,62	0,16
K	Н. а.	Н. а.	Н. в. – 0,13	0,03	K₂O	Н. в. – 0,18	0,05
Ca	Н. а.	Н. а.	Н. в. – 0,20	0,05	CaO	Н. в. – 0,31	0,08
Cl	Н. в.	Н. в.	Н. в. – 0,24	0,16	Cl	Н. в. – 0,26	0,17

Примітка. Н. в. (= 0,0) – елемент/компонент не виявлено, зокрема не виявлено Cr, P, Si у металі, SiO₂, Al₂O₃, Na₂O – у гідроксидах заліза. Н. а. – не аналізували. Незначний вміст 1–4 мас. % O у Fe,Ni-металі не включено до суми аналізів. Середнє (4) – середнє значення вмісту, у дужках – кількість аналізів.

Таблиця 2. Хімічний склад (мас. %) однорідної сірої овальної ділянки (ОД), периферійної оксидної оболонки (ОО) навколо ОД, у крупному зерні Fe,Ni-металу, хондрит Грузьке

Table 2. Chemical composition (wt.%) of the homogeneous grey oval-shaped corrosion area (OvalA), the peripheral oxide rim (OR) around the oval-shaped area within the large weathered grain of iron-nickel, the Gruz'ke chondrite

	ОД (OvalA)	ОД (OvalA)	ОО (OR)		ОД (OvalA)	ОД (OvalA)	ОО (OR)
	Середнє (4)	Межі	1		Середнє (4)	Межі	1
Fe	60,5	60,1–60,9	55,6	FeO	84,7	84,3–85,1	85,4
Ni	8,12	7,84–8,50	Н. в.	NiO	11,3	10,9–11,8	Н. в.
Co	0,65	0,39–0,82	Н. в.	CoO	0,90	0,55–1,14	Н. в.
Si	0,10	Н. в. – 0,14	1,83	SiO₂	0,24	Н. в. – 0,33	4,94
S	1,02	0,83–1,14	Н. в.	SO₃	2,83	2,32–3,15	Н. в.
Mg	Н. а.	Н. а.	4,62	MgO	Н. а.	Н. а.	9,71
Cl	0,05	Н. в. – 0,20	Н. в.	Cl	0,06	Н. в. – 0,23	Н. в.
O	29,6	29,3–30,2	37,9				

Примітка. CuO, Cr₂O₃, P₂O₅, MnO та Al₂O₃ = Н. в.

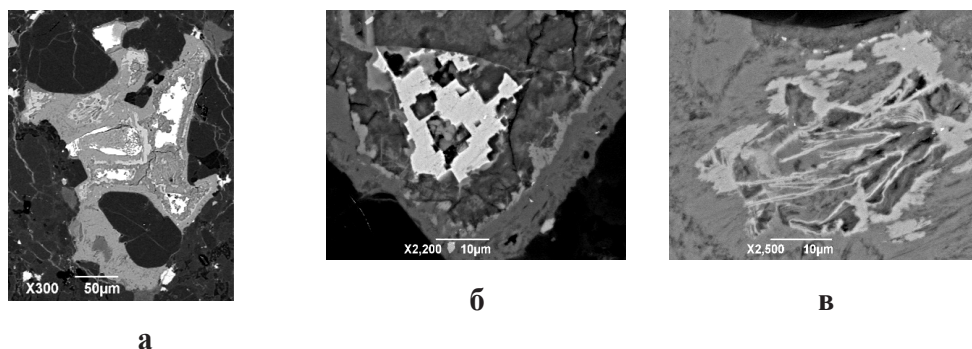


Рис. 2. а – в. Суттєво заміщене зерно Fe,Ni-металу із продуктами вивітрювання, ПВ (неоднорідно сіре), у силікатній матриці (темно-сіре): а – загальне зображення; б – ділянка залишкового нікелістого заліза, ЗНЗ (біле) серед ПВ; в – тонка зональність гідроксидів заліза; хондрит Грузьке. Режим відбитих електронів

Fig. 2. The grain of Fe-Ni metal is significantly replaced by weathering products (iron hydroxides, inhomogeneous grey), in the silicate matrix (dark grey): а – general view; б – an area of the residual iron-nickel (white) among weathering products; в – fine zonal structure of iron hydroxides, the Gruz'ke chondrite. Backscattered electron image

Таблиця 3. Склад (мас. %) суттєво заміщеного зерна Fe,Ni-металу та його продуктів вивітрювання, хондрит Грузьке

Table 3. Composition (wt.%) of the significantly replaced grain of Fe-Ni and its weathering products (light/dark grey Fe hydroxide), the Gruz'ke chondrite

	ЗНЗ (α -Fe,Ni)	ЗНЗ (α -Fe,Ni)	ПВ (Fe hydroxide)	ПВ (Fe hydr.)	С/с ПВ (light grey Fe hydr.)	С/с ПВ (light grey Fe hydr.)	Т/с ПВ (dark grey Fe hydr.)	Т/с ПВ (dark grey Fe hydr.)
	Серед. (3)	Межі	Серед. (3)	Межі	Серед. (3)	Межі	Серед. (3)	Межі
Fe	91,4	91,6–93,8	54,8	50,7–59,9	60,5	58,5–61,8	45,4	43,6–48,0
Ni	6,64	6,21–7,01	7,56	5,03–9,52	4,26	2,28–7,32	10,2	9,04–11,7
Co	0,66	Н. в. – 1,48	0,73	0,50–1,07	0,56	Н. в. – 0,89	0,31	Н. в. – 0,51
Cu	0,13	Н. в. – 0,39	0,12	Н. в. – 0,37	0,13	Н. в. – 0,39	Н. в.	Н. в.
Cr	0,08	Н. в. – 0,24	Н. в.	Н. в.	Н. в.	Н. в.	0,10	Н. в. – 0,31
Si	Н. в.	Н. в.	0,70	0,48–0,85	0,91	0,58–1,25	2,73	1,89–3,18
S	Н. в.	Н. в.	0,43	0,39–0,47	0,27	Н. в. – 0,51	0,27	Н. в. – 0,52
Al	Н. в.	Н. в.	Н. в.	Н. в.	Н. в.	Н. в.	0,09	Н. в. – 0,26
Cl	0,09	Н. в. – 0,26	0,11	Н. в. – 0,17	Н. в.	Н. в.	Н. в.	Н. в.
O	–	–	35,61	32,8–37,4	33,4	32,5–33,8	41,0	39,9–42,2

Примітка. Вміст P, Mn = Н. в.; Mg, Na, K, Ca = Н. а. і Н. в. ЗНЗ – залишкове нікелісте залізо (α -Fe,Ni), до його аналізів не включено незначну кількість O (2,32 мас. % у серед. із 3 ан., межі 1,9–2,8 мас. %). ПВ – продукт вивітрювання (гідроксид Fe, Fe hydroxide), ділянки якого містяться всередині ЗНЗ. С/с ПВ – світло-сірий ПВ (light grey Fe hydroxide). Т/с ПВ – тріщинуватий темно-сірий ПВ (dark grey Fe hydroxide), між ЗНЗ і оксидною оболонкою.

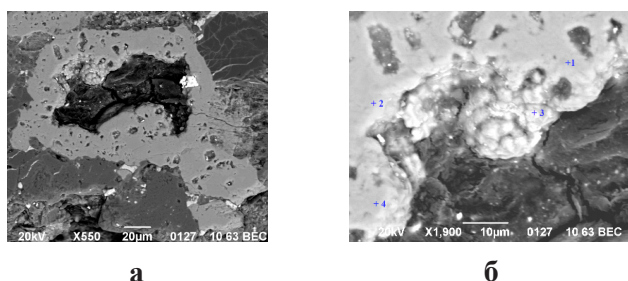


Рис. 3. а, б. Порожниста псевдоморфоза гідроксиду заліза по Fe,Ni-металу, хондрит Грузьке: а – загальне зображення; б – кулясте утворення у КП. Режим відбитих електронів

Fig. 3. The hollow pseudomorph of iron hydroxide, which was formed by complete replacement of the Fe-Ni grain, the Gruz'ke chondrite: а – general view, б – spherical object which is located inside the corrosion cavity. Backscattered electron image

З порожнистими ділянками псевдоморфоз пов'язані кулясті (глобулярні) структури ПВ. Так, плоска поверхня зрізу псевдоморфози (Пс) (рис. 3, а, б) містить у середньому (з 3-х ан., межі – у дужках, мас. %): FeO 92,6 (92,1–93,0); NiO 3,5 (2,72–4,02); SiO₂ 3,86 (3,32–4,96); Cl 0,08 (Н. в. – 0,24). За високим вмістом FeO, з його незначними варіаціями, постійними домішками Ni та Si, низьким вмістом Cl вона відповідає гетиту або тонкій суміші α -FeO(OH) та γ -FeO(OH), що заміщує α -(Fe,Ni). Кулясте утворення блокової будови, що сформувалося в КП цієї Пс (рис. 3, б), складається з (мас. %): 95,3 FeO, 3,12 NiO, 1,54 SiO₂, не містить Cl. Збільшений вміст Fe – 80,5 мас. % у глобулі, можливо, пов'язаний із її розташуванням на стінці КП нижче поверхні зразка.

Висновки

1. Розмаїття структур звітрювання Fe,Ni-металу хондрита Грузьке, наявність заміщених ділянок плямистої, коломорфної, шаруватої будови, зональність продуктів вивітрювання генетично пов'язані з фазовою та хімічною неоднорідністю нікелістого заліза, низьким умістом Ni в α -(Fe,Ni), що зумовлює пріоритетне окиснення та заміщення камаситу та плеситу порівняно з тенітом.

2. Гідроксиди заліза складаються з дисперсної суміші поширених гетиту та гідроветтиту, не виключено наявність лепідокрокіту. Окиснення метеоритного металу відбувалося за участю вологи, на що вказує безпосередній просторовий зв'язок Fe,Ni-металу з $\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$.

3. Суцільно звітрілі зерна Fe,Ni-металу, у яких втрачені первинні структурні та хімічні характеристики, варто обмежено використовувати для інтерпретації доземних процесів утворення речовини цього метеорита.

4. Низький уміст Cl < 0,3 мас. % у ПВ свідчить про їхню низьку корозійну активність, через що буде гальмуватися подальша корозія та заміщення зерен Fe,Ni-металу. Це запобігатиме окисненню речовини метеоритного зразка під час його лабораторного дослідження та зберігання.

Перспективи подальших досліджень

Перспективність подальшого дослідження визначається необхідністю своєчасного моніторингу продуктів вивітрювання Fe,Ni-металу, як найменш стійкого за земних умов непрозорого мінералу метеоритів. Це дає змогу виявлення і, за необхідності, видалення активного хлорвмісного акаганейту β -FeO(OH,Cl) з метою забезпечення тривалого зберігання метеоритного зразка в лабораторії та музейній колекції ННПМ НАНУ.

Авторка вдячна В.М. Сливінському (ДУ «ІГНС НАН») та В.В. Пермякову (ІГН НАН) за технічну допомогу під час електронно-мікроскопічного вивчення метеоритного зразка.

Література

1. Соботович Э.В., Семенов В.П. Вещество метеоритов. Киев : Наукова думка, 1984. 191 с.
2. Додд Р. Метеориты. Москва : Мир, 1986. 384 с.
3. Соботович Э.В., Семенов В.П. Происхождение метеоритов. Киев : Наукова думка, 1985. 207 с.

CHEMICAL COMPOSITION AND STRUCTURE OF THE WEATHERING PRODUCTS OF IRON-NICKEL OF THE GRUZ'KE CHONDRITE (H4)

Shyrinbekova S.N.

Shyrinbekova S.N., Candidate of Geological Sciences (Ph. D.), M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the National Academy of Sciences of Ukraine, ORCID: 0000-0003-3872-0399, svetlana_shyrinbekova@ukr.net

Secondary weathering microstructures such as oxide rims, oxide veins and pseudomorphs of the weathering products are genetically related to altered (weathered) iron-nickel grains (kamacite α -(Fe,Ni), taenite γ -(Fe,Ni), plessite $\alpha+\gamma$ -(Fe,Ni)) of the Gruz'ke ordinary chondrite (H4). Rare microglobules of corrosion products were found in the hollow space inside some pseudomorphs. Various weathering microstructures consist of the dispersed mixtures of secondary iron oxyhydroxides – wide-spread goethite α -FeO(OH) and hydrogoethite $\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$. They spread from

4. Юдин И.А., Коломенский В.Д. Минералогия метеоритов. Свердловск : Урал. НЦ АН СССР, 1987. 200 с.

5. Ширинбекова С.Н. Влияние земного вивітрювання на структурно-мінералогічні особливості метеоритів : дис. ... канд. ; Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України. Київ, 2019.

6. Buchwald V.F., Clarke R.S. Corrosion of Fe-Ni alloys by Cl-containing akaganeite (β -FeOOH): The Antarctic meteorite case. *Amer. Miner.* 1989. Vol. 74. P. 656–667.

7. Структурно-мінералогічні особливості кам'яного метеориту Грузьке / В.П. Семенов та ін. *Мінералогічний збірник Львівського університету*. 2010. № 60. Вип. 1. С. 59–69.

8. Van Schmus W.R., Wood J.A. A chemical-petrologic classification for the chondritic meteorites. *Geochim. Cosmochim. Acta*. 1967. Vol. 31 (5). P. 745–765.

9. Кичань Н. Структури ударного метаморфізму в метеориті Грузьке. *Записки Українського мінералогічного товариства*. 2011. Т. 8. С. 122–125.

10. Wlotzka F. A weathering scale for the ordinary chondrites. *Meteoritics*. 1993. Vol. 28. P. 460.

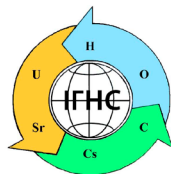
11. Ширинбекова С.Н. Ознаки звітрювання нікелістого заліза і троїліту хондрита Грузьке (H4). *Мінералогічний журнал*. 2022. Т. 44. Вип. 2. С. 11–19. DOI: 10.15407/mineraljournal.44.02.011.

References

1. Sobotovich, E.V., Semenenko, V.P. (1984). *Veshchestvo meteoritov*, Nauk. dumka, Kyiv, UA, 191 p.
2. Dodd, R.T. (1986), *Meteorites*, Mir, Moscow, USSR, 384 p.
3. Sobotovich, E.V., Semenenko, V.P. (1985). *Proiskhozhdenie meteoritov*, Nauk. dumka, Kyiv, UA, 207 p.
4. Yudin, I.A., Kolomenskiy, V.D. (1987), *Mineralogiya meteoritov*, Ural. Nauch. Center AN SSSR, Sverdlovsk, USSR, 200 p.
5. Shyrinbekova, S.N. (2019). *Influence of terrestrial weathering on the structural and mineralogical features of meteorites*. (Candidate dissertation). M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the NASU, Kyiv.
6. Buchwald, V.F., Clarke, R.S. (1989), Corrosion of Fe-Ni alloys by Cl-containing akaganeite (β -FeOOH): The Antarctic meteorite case, *Amer. Miner.*, 74: 656–667.
7. Semenenko, V.P., Girich, A.L., Kychan, N.V. and Shyrinbekova, S.N. (2010), *Struktorno-mineralohichni osoblivosti kam'ianoho meteoritu Gruz'ke*, *Mineral. zb. Lviv. Univ.*, 60 (1): 59–69, Lviv, UA.
8. Van Schmus, W.R., Wood, J.A. (1967), A chemical-petrologic classification for the chondritic meteorites, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 31 (5): 745–765.
9. Kychan, N. (2011), *Struktury udarnoho metamorfizmu v meteoryti Gruz'ke*, *Zapyski Ukr. Mineral. Tov.*, 8: 122–125.
10. Wlotzka, F. (1993), A weathering scale for the ordinary chondrites, *Meteoritics*, 28: 460.
11. Shyrinbekova, S.N. (2022), Evidences of Weathering of Iron-Nickel and Troilite in the Gruz'ke H4-Type Chondrite, *Mineral. Journ.*, 44 (2): 11–19. DOI: 10.15407/mineraljournal.44.02.011.

the grain boundary into the interior of the metal grains. The presence of lepidocrocite γ -FeO(OH) is assumed. Iron hydroxides are characterized by: a) heterogeneous grey color; b) various structures, the presence of replaced areas of mottled, collomorphic and layered structure; c) porosity and zonal structure; d) variations in the FeO and NiO content. The oxide rim around a large grain of Fe-Ni metal consists of (the average content from 4 an., content limits are given in the brackets, wt. %): FeO 82.7 (81.6–83.8); NiO 10.9 (10.4–11.7); SO_3 4.88 (4.23–5.92); CoO 0.79 (up to 1.31); CuO 0.14 (up to 0.57); MnO 0.14 (up to 0.54); MgO 0.16; $K_2O + CaO$ 0.13; Cl 0.17 (up to 0.26). Iron oxyhydroxide pseudomorph contains (the average of 3 an., limits – in the brackets, wt. %): FeO 92.6 (92.1–93.0); NiO 3.5 (2.72–4.02); SiO_2 3.86 (3.32–4.96); Cl 0.08 (up to 0.24). The phase and chemical heterogeneity of Fe-Ni, low Ni concentration in α -(Fe,Ni) are the main causes of selective oxidation and replacement of kamacite and plessite, compared to taenite. The process of corrosion and replacement of Fe-Ni metal occurred in the presence of moisture, as evidenced by the direct spatial connection of iron-nickel with FeO(OH) \cdot nH₂O. Completely altered Fe-Ni grains, which have lost their primary structural and chemical characteristics, are not quite reliable for the interpretation of the pre-terrestrial processes of the meteorite matter formation. Iron hydroxides have a low chlorine content of Cl < 0,3 wt. %, which indicates their low corrosiveness. As a result, further corrosion and replacement of the Fe-Ni metal will be inhibited, which will prevent oxidation of the meteorite sample during laboratory research and storage.

Key words: Gruz'ke chondrite, Fe-Ni metal, iron hydroxide, goethite, hydrogoethite, pseudomorph, weathering.



DOI

УДК 553.612 (477.42)

Фігура Л.А., Ковальчук М.С.

Фігура Л.А., кандидат геологічних наук, Інститут геологічних наук НАН України, ORCID: 0000-0001-8009-2854, liuba_figura@ukr.net

Ковальчук М.С., доктор геологічних наук, професор, Інститут геологічних наук НАН України, ORCID: 0000-0001-9265-9707, kms1964@ukr.net

СТРУКТУРНО-ЛІТОЛОГІЧНА МОДЕЛЬ ШАБЕРІВСЬКОГО РОДОВИЩА ЕЛЮВІАЛЬНИХ КАОЛІНІВ

Наведено дані щодо зональності та речовинного складу кори вивітрювання в межах Шаберівського родовища елювіальних каолінів, яке розташоване в Баранівському районі Житомирської області та входить до складу Дубрівсько-Хмельського каолінового району Волинської каолінової субпровінції. Корисною копалиною Шаберівського родовища є нормальні та лужні каоліни, які утворилися вивітрюванням гранітоїдів. Окремі ділянки кондиційних каолінів наявні у верхній частині кори вивітрювання гнейсів. На підставі координат і опису свердловин досліджено рельєф підшови та поверхні покладу елювіальних каолінів, а також латеральну зміну їхньої товщини. З'ясовано, що пластовоподібні поклади каоліну мають складну морфологію та внутрішню будову. Установлено, що найбільші товщини каолінів приурочені до понижень у рельєфі їхньої підшови. Максимальні товщини каолінів притаманні ділянкам кори вивітрювання, що утворилася через вивітрювання гранітів і мігматитів. За результатами опробування свердловин і хімічного аналізу каолінів досліджено розподіл вмісту оксидів Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 та показника білизни за латераллю й у вертикальному перетині каолінів. Установлено, що на більшій частині родовища за латераллю спостерігається прямий кореляційний зв'язок між середнім вмістом Al_2O_3 і TiO_2 , зворотний – між вмістом Fe_2O_3 та TiO_2 та між Al_2O_3 і Fe_2O_3 . У вертикальному перетині товщі каолінів розподіл оксидів заліза, титану, алюмінію й індексу білизни нерівномірний. Загалом, для родовища характерні нерівна з підняттями та западинами підшови та поверхня, нерівномірний латеральний розподіл товщини покладу каолінів. Нерівномірним за латераллю є розподіл середнього вмісту оксидів заліза, титану й індексу білизни, а також вертикальний розподіл вмісту оксидів заліза, алюмінію, титану й індексу білизни. З'ясовано, що геологічна неоднорідність порід кристалічного фундаменту відбилася в будові, речовинному складі кори вивітрювання і, відповідно, у структурі (характер рельєфу підшови та поверхні, товщина) і якісних параметрах (білизна, шкідливі домішки) елювіальних каолінів.

Ключові слова: Волинська каолінова субпровінція, Дубрівсько-Хмельський каоліновий район, елювіальні каоліни, Шаберівське родовище, структурно-літологічна модель.

Вступ. Осадкові відклади України характеризуються значним рудоносним потенціалом, який можна швидко, економічно вигідно й екологічно безпечно розробляти. Основою для прогнозу, пошуків, геологічної розвідки, експертної оцінки, а також інформаційного супроводу експлуатації об'єктів корисних копалин в осадових утвореннях України є їх геолого-генетичні моделі зі структурно-літологічним наповненням [2; 3].

Україна посідає одне із провідних місць у світі за кількістю розвіданих і попередньо оцінених запасів каоліну. Значна більшість запасів і ресурсів каолінів України зосереджені в межах Українського щита та його схилів [4]. Родовища та перспективні рудопрояви каоліну Українського кристалічного щита утворюють каолінову провінцію [7]. У межах каолінової провінції Українського щита виокремлюють субпровінції (Волинську, Подільську, Центральну, Придніпровську, Приазовську) та райони [4; 6; 7].

Широке застосування каолінів у різних галузях промисловості та необхідність прогнозування, пошуку й оцінки нових родовищ, переоцінки вже відомих родовищ, з'ясування зміни якості каолінів у вертикальному перетині та за латераллю в межах родовищ і окремих ділянок надрокористування в їхніх межах зумовлюють економічне, практичне та загальнонаукове значення дослідження каолінів.

Матеріали та методи дослідження. Методико-методологічною основою побудови структурно-літологічної моделі родовищ каоліну є алгоритм, напрацьований у відділі літології Інституту геологічних наук НАН України, який апробований на низці родовищ Українського щита [8] й оприлюднений на наукових конференціях різного рівня.

Основою для досліджень Шаберівського родовища були виробничі звіти з Фондів Геоінформ: № 45056, Ф.Ф. Борисенков, 1982 р., «Отчет о завершении общих

поисков месторождений каолинов в северо-западной и центральной частях Украинского щита, проведенных Белоцерковской ГРП в 1974–1982 гг. (Житомирская, Ровенская, Киевская, Черкасская, Винницкая, Кировоградская обл. УССР)»; № 47757, Ф.Ф. Борисенков, 1985 р., «Отчет о детальных поисках каолинов для керамических изделий в районе действующих фарфоро-фаянсовых заводов, в северо-западной части УЩ, проведенных в 1983–1985 гг. (Барановский, Новоград-Волынский и Коростенский р-ны Житомирской обл.)»; № 50293, І.П. Букович, 1987 р., «Отчет о групповой геологической съемке масштаба 1 : 50 000 территории листов М-35-67-А, Б, В, Г за 1983–1987 гг. (Шепетовский район)»; № 52642, І.В. Шепель, 1990 р., «Поисково-оценочные работы на месторождениях первичных каолинов «Шабер» и «Осиповское» в качестве сырья для фарфоро-фаянсовой промышленности (Барановский район Житомирской обл. УССР)»; № 56123, І.В. Шепель, 1993 р. «Попередня оцінка Шаберського родовища первинних каолінів у Баранівському районі Житомирської області». На основі узагальнення й аналізу матеріалів звітів було створено цілісне трактування речовинного складу та зональності кори вивітрювання. Для картографічного моделювання структури (гіпсометрії покривлі, підшви елювіальних каолінів, їхньої товщини) і якісних показників (розподіл вмістів породоутворювальних оксидів і показника білизни) покладау каолінів була створена цільова база даних, яка містила дані координат свердловин, їх опис, результати хімічного аналізу каолінів і визначення показника їхньої білизни. Картографічні побудови здійснювалися з використанням ГІС-технологій у програмах Inkscape, Golden Software Strater, Golden Software Surfer.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Геолого-пошукові та геолого-розвідувальні роботи в Дубрівсько-Хмельівському каоліновому районі проводилися

з 1923 р. багатьма виробничими організаціями з метою пошуку каолінової сировини для різних напрямів використання. Основні роботи з дослідження геологічної будови та якості сировини в межах Шаберівського родовища були проведені під керівництвом Ф.Ф. Борисенкова (протягом 1974–1985 рр.), І.П. Буковича (протягом 1983–1987 рр.) та І.В. Шепеля (протягом 1990–1992 рр.). У результаті виконаних робіт родовище було оконтурено за латераллю та на глибину; здійснено підрахунок запасів каолінів за трьома варіантами, як-от: каолін-сирець для фарфорових і фаянсових виробів (основний варіант); каолін збагачений, що відповідає вимогам ГОСТ 21286-82 для фарфорових і фаянсових виробів; підраховано запаси каолінів за категорією C_1+C_2 , визначено їх термін забезпечення; зроблено висновок, що геологічні, гідрогеологічні й інженерно-технологічні умови сприятливі для освоєння родовища відкритим способом.

До шкідливих домішок у каоліні належать залізо та титан, які суттєво погіршують його якісні показники. У зв'язку із цим із практичного погляду доцільно з'ясувати особливості поширення вмісту шкідливих домішок у вертикальному перетині каолінів і за їх латеральним поширенням.

Мета роботи. Дослідити структуру поклада елювіальних каолінів Шаберівського родовища, просторовий і вертикальний розподіл у них шкідливих (Fe_2O_3 , TiO_2) домішок і показника білизни.

Результати досліджень. Шаберівське родовище елювіальних каолінів розташоване в межах Дубрівсько-Хмельівського каолінового району Волинської каолінової субпровінції, яка займає північно-західну частину Українського щита і є основою розвіданих запасів і промислового видобутку елювіальних каолінів у межах цієї субпровінції [6].

Адміністративно родовище належить до Баранівського району Житомирської області. Територіально



Рис. 1. Розташування Шаберівського родовища елювіальних каолінів на космоснімку із платформи Google Earth Pro. Контури ділянки умовні

Fig. 1. The location of the Shaberivsk deposit of eluvial kaolins on a space photo from the Google Earth Pro platform. Plot contours are conditional

родовище розташоване між населеними пунктами Кам'яний Брід і Довбиш, на південний схід від Кам'яного Броду, у районі впадіння річки Шабер у річку Немилянка (рис. 1). У цих населених пунктах розташовані та працюють фарфоро-фаянсові підприємства Баранівсько-Коростенської групи Кам'янобрідський і Довбиський (колишній Мархлевський).

У геологічній будові Шаберівського родовища елювіальних каолінів, за даними Ф.Ф. Борисенкова й І.П. Шепеля, беруть участь докембрійські кристалічні породи: гнейси тетерівської серії та гранітоїди кіровоградсько-житомирського комплексу, кора вивітрювання цих порід, глини сарматського ярусу та кварцові піски та суглинки четвертинної системи. У межах родовища кристалічні породи на денну поверхню не виходять, глибина їх залягання 15–55 м і більше; поверхня їх нерівна, із западинами та підняттями. Сприятливі кліматичні (теплий і вологий клімат), палеогеографічні, геологічні та тектонічні умови в мезозой-кайнозойський час сприяли створенню каолінової кори вивітрювання кристалічних порід значної товщини.

Кора вивітрювання залишкова, похована, площового морфологічного типу. Утворилася кора вивітрюванням усіх петротипів кристалічних порід (гранітів, пегматитів, мігматитів, гнейсів) і має значне поширення. Середня товщина елювію 24,6 м, максимальна – 52 м; глибина залягання – від 1,1–2,0 м до 12,0–14,0 м. На ділянках найменшої глибини залягання кори вивітрювання покривні породи представлені суто четвертинними відкладами, а в межах інших ділянок – четвертинними та неогеновими. Особливістю кори вивітрювання є усадковані та збережені структурно-текстурні особливості материнських порід кристалічного фундаменту.

Вертикальна зональність кори вивітрювання виражена в поступовій вертикальній зміні зон із різним ступенем вивітрювання материнських порід і перетворення первинних мінералів, відбиває послідовність і стадійність гіпергенезу (рис. 2). У профілі кори вивітрювання виокремлено такі зони (знизу вгору): дезинтеграції та вилугування; початкового гідролізу (каолініт-гідрослюдиста); кінцевого гідролізу й окиснення

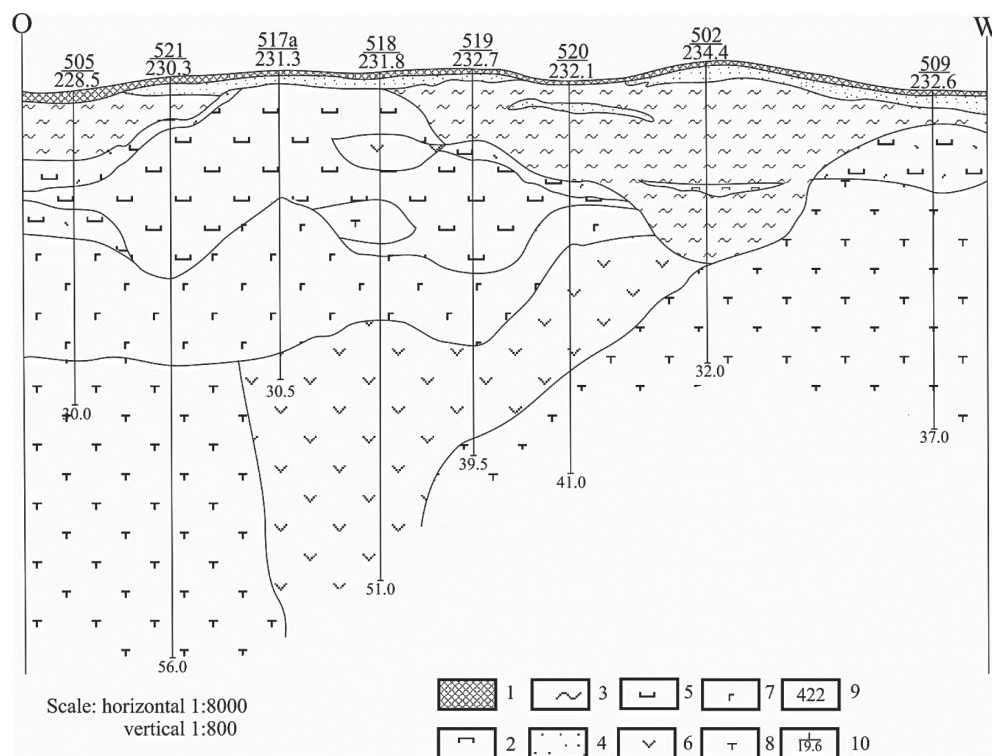


Рис. 2. Типовий геологічний розріз Шаберівського родовища елювіальних каолінів: 1 – ґрунтово-рослинний шар; 2 – суглинок (Q_{IV}); 3 – глина строката (N_{1-2ps}); 4 – пісок; 5 – зона кінцевого гідролізу й окиснення продуктів вивітрювання (каолін нормальний); 6 – зона початкового гідролізу (каолін лужний); 7 – нижня частина зони початкового гідролізу (каолініт-гідрослюдиста порода); 8 – зона дезинтеграції та вилугування (каолінізована жорстка); 9 – номер свердловини; 10 – глибина свердловини

Fig. 2. Typical geological section of the Shaberivske deposit of eluvial kaolins: 1 – soil and vegetation layer; 2 – loam (Q_{IV}); 3 – variegated clay (N_{1-2ps}); 4 – sand; 5 – zone of final hydrolysis and oxidation of weathering products (normal kaolin); 6 – zone of initial hydrolysis (alkaline kaolin); 7 – lower part of the initial hydrolysis zone (kaolinite-hydromic rocks); 8 – zone of disintegration and leaching (kaolinized grit); 9 – well number; 10 – depth of the well

продуктів вивітрювання (каоолінітова) (див. рис. 2). Переходи між зонами поступові, межі виокремлено умовно. Узагальнення й аналіз інформації геологічних звітів дозволили з'ясувати речовинний склад і зональність кори вивітрювання.

Зона дезинтеграції та вилуговування часто відсутня та представлена інтенсивно тріщинуватими материнськими породами, які зазнали часткового вивітрювання та легко руйнуються до стану жорстви. У зоні добре збережені реліктові структури материнських порід. Породи залежно від материнського субстрату та ступеню гіпергенних змін мають світло-сіре, рожево-світло-сіре та сіре забарвлення; у численних тріщинах гнейсів наявне значне озалізнєння. Реліктові мінерали: кварц, польові шпати, мусковіт; гіпергенні – каолініт, гідролюда, лейкоксен, сидерит, гідроксиди заліза; акцесорні – фіброліт, силіманіт, циркон, рутил, гранат, дистен, ільменіт. Плагіоклаз частково заміщений каолінітом, біотит гідратується та перетворюється на хлорит з одночасним утворенням лейкоксену та сагеніту.

Зона початкового гідролізу поширена повсюдно. Породи зони, що утворилися вивітрюванням гранітів, пегматитів, мігматитів, представлені гідролюдисто-каооліністо-жорствяною породою світло-сірого, рожево-сірого забарвлення з різним ступенем озалізнєння. Польові шпати каоолінізовані, темноколірні мінерали заміщені гідролюдою та хлоритом. Породи, що утворилися вивітрюванням гнейсів, представлені каооліном сірим, світло-сірим до білого забарвлення, іноді із зеленуватим відтінком. Загалом породи зони початкового гідролізу містять 10–50% гідролюди та характеризується різким переважанням у їхньому складі вторинних мінералів. Зокрема, тут завершується каоолінізація плагіоклазів, гідратація мусковіту та біотиту, завдяки яким утворюється каолініт.

Зона кінцевого гідролізу й окиснення продуктів вивітрювання представлена каооліном світло-сірого, білого або жовтувато-білого забарвлення, жирного на дотик, в'язкого, пластичного, із зернами кварцу. Усі породоутворювальні мінерали цілком заміщені каоолінітом, гідролюдою, монтморилонітом. У породах зони відсутній реліктовий польовий шпат і постійно присутній гідратований мусковіт. Структурні особливості каоолініту у профілі визначаються його тонко-мікролускуватою будовою.

На основі узагальнення й аналізу матеріалів виробничих звітів, даних координат, опису й опробування свердловин, результатів хімічного аналізу каоолінів нами напрацьована структурно-літологічна модель родовища, яка ґрунтується на методико-методологічній основі структурно-літологічного моделювання осадових формаційних одиниць [8].

Каооліни Шаберівського родовища становлять покривний пластоподібний поклад, просторово та генетично пов'язаний із каоолінізованою корою вивітрювання гранітів, мігматитів, пегматитів і гнейсів. Пластоподібні поклади каооліну мають складну морфологію та внутрішню будову. У розрізі вони мають

мінливу товщину, нерівну підшову та покрівлю (рис. 3), непостійну якість. Абсолютні відмітки підшови коливаються в межах від 191,5 до 227,4 м, покрівлі – від 198,6 до 230,09 м. Товщина покладу каоолінів є невирівняною, змінюється в межах 1,0–28,5 м. Коефіцієнт варіації товщини каоолінів (за даними І.В. Шепеля) – 40,6%, товщини покривних порід – 43,6%. Максимальні показники товщини каоолінів притаманні ділянкам кори вивітрювання, що утворилися вивітрюванням гранітів і мігматитів. Поклади каоолінів, що утворилися вивітрюванням гнейсів, зазвичай мають незначну товщину.

На підставі аналізу створених карт (див. рис. 3) нами з'ясовано, що товщина покладу каоолінів часто корелює із глибиною їхньої підшови, на окремих ділянках пониженням у рельєфі підшови відповідають найбільші показники товщини каоолінів, а також залежить від глибини ерозійного зрізу. У межах Шаберівського родовища корисною копалиною є нормальні та лужні каооліни, які утворилися вивітрюванням гранітоїдів; окремі ділянки кондиційних каоолінів присутні у верхній частині кори вивітрювання гнейсів. Поклад каоолінів поділяється на дві підзони: нижню – підзону лужних, верхню – підзону нормальних каоолінів. Лужні каооліни розкриті 11 свердловинами. За даними виробничників, для лугів характерна різка перевага K_2O над Na_2O ; вміст K_2O становить 0,09–3,35%. Він значно вищий у лужних каоолінів порівняно з нормальними, дещо завищений навіть у профілі нормальних каоолінів, що пояснюється наявністю дрібнодисперсної слюди та гідролюди. Характерне поступове закономірне збільшення вмісту K_2O від покрівлі пласта каоолінів до його підшови. Підвищена кількість домішок лугів у нормальних каоолінах, за даними виробничих звітів, зумовлена присутністю слюди та гідролюди у глинистій складовій частині; у нижніх шарах покладу каоолінів трапляються домішки калійшпату (до 1–3%); на окремих ділянках наявні домішки тонкодисперсного кальциту.

У піщаній фракції нормальних каоолінів вміст K_2O становить 0,03–2,0%, а в лужних – 2,0–10,65%. Вміст оксиду калію має нерівномірний розподіл за латераллю. У мінеральному складі порід, які становлять підзону нормальних каоолінів, відсутній реліктовий польовий шпат і постійно присутній гідратований мусковіт. Пластівцеподібні скупчення тонкодисперсного лейкоксену наповнюють каоолінітову породу. Товщина кондиційних нормальних каоолінів (за даними виробничих звітів) змінюється від 0,0 до 12,6 м, середня – 2,2 м.

Якість каоолінів і їхні фізико-хімічні властивості, що визначають сферу можливого використання, зумовлені мінерально-петрографічним складом і структурно-текстурними особливостями материнських порід, а також ступенем і глибиною їх вивітрювання та гіпергенного мінералоутворення. Критеріями якості каоолінів є наявність у них фарбувальних (шкідливих) домішок Fe_2O_3 та TiO_2 . Залізовмісні мінерали представлені тонкодисперсним гетитом, а також піритом, турмаліном, ільменітом, гранатом, біотитом, інколи

сидеритом; деяка кількість заліза входить у решітку каолініту. Титановмісні мінерали представлені переважно ільменітом, рутилом, лейкоксеном і анатазом. Найдрібніші голчасті агрегати рутилу представлені зростками в окремих лусках і пакетах каолініту, що утворилися по слюді. У дрібних фракціях незначна частина мінералів титану пов'язана з лусками каолініту, а основна їх частина знаходиться у вільних зернах лейкоксену, лейкоксенізованого анатазу, лейкоксеноподібної речовини, що утворена на монациті. У геологічних звітах, складених під керівництвом І.П. Шепеля, зазначається, що з'єднання заліза та титану у процесі збагачення каоліну концентруються у глинистій складовій частині.

На підставі хімічних аналізів каолінів із виробничих звітів з'ясовано, що вміст Fe_2O_3 в каолінах змінюється від 0,49 до 6,77%; у кондиційних пробах каолінів вміст Fe_2O_3 становить 0,3–0,8%, вміст TiO_2 – 0,38–1,36% (у більшості проб перевищує 0,5%), вміст Al_2O_3 – 29,42–39,45%; вміст SiO_2 – 52,0–80,0%. Під час збагачення каолінів, як зазначає І.П. Шепель у виробничих звітах, відсоток виходу каолінітового концентрату у пробах змінюється від 13,86 до 89,6%, зокрема в кондиційних пробах від 26,8 до 71,6%; середній вміст у нормальних каолінах – 56,55%, у лужних – 38,23%, по родовищу – 50,22%.

Важливим показником якості каоліну для багатьох галузей промисловості є його білизна, або індекс білизни, чи показник відбиття, який являє собою коефіцієнт відбиття поверхні в синій області спектра за ефективної довжини хвилі 457 нм, який вимірюється щодо коефіцієнта віддзеркалення абсолютного рефлектора, що приймається за 100% [1]. Цей показник визначається приладом лейкометром у відсотках, за методикою, висвітленою в ГОСТах 16680-71, 16680-79 [1], а також може визначатися скануванням зрізів каоліну на сканері, з подальшою інтерпретацією RGB-зображення.

За даними буріння свердловин і хімічного аналізу каолінів нами побудовано карти латерального розподілу індексу білизни та середнього вмісту Fe_2O_3 , TiO_2 , Al_2O_3 (рис. 4). Індекси білизни коливаються в межах 44,3–84,14%. Вміст шкідливих домішок (оксидів) у каоліні: Fe_2O_3 – від 0,56 до 6,77%, TiO_2 – від 0,38 до 1,2%. Аналіз латерального розподілу індексу білизни каолінів дозволив з'ясувати, що наявний обернений кореляційний зв'язок його із вмістом Fe_2O_3 та частково із вмістом TiO_2 та здебільшого прямий кореляційний зв'язок із вмістом Al_2O_3 (див. рис. 4). Кореляційний зв'язок між Fe_2O_3 та TiO_2 здебільшого обернений (лише на окремих ділянках спостерігається прямий кореляційний зв'язок). Прямий кореляційний зв'язок на значній території родовища існує між вмістом Al_2O_3 та TiO_2 , обернений – між вмістом Al_2O_3 і Fe_2O_3 . На окремих ділянках родовища кореляційні зв'язки між цими складовими частинами відсутні.

У вертикальному перетині каолінів розподіл оксидів заліза, титану, алюмінію й індексу білизни нерівномірний. Чітко вираженої прямої або оберненої кореляції

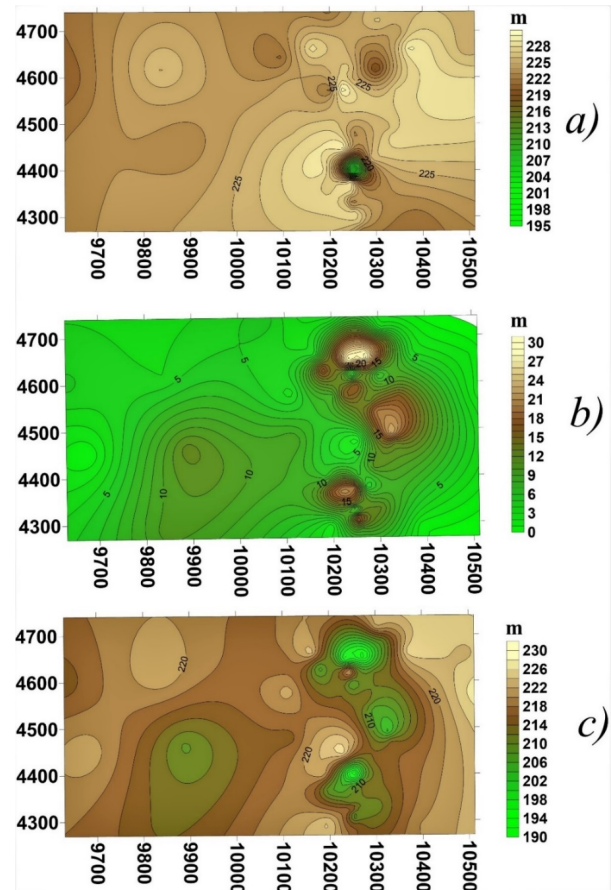


Рис. 3. Карти співвідношення ізоліній верхньої поверхні шару каоліну (а), ізоліній товщини шару каоліну (б) та ізоліній нижньої поверхні шару каоліну (в). За віссю абсцис і ординат вказано прямокутні умовні координати X і Y. Система висот балтійська

Fig. 3. Maps of the relationship between the isolines of the top surface of the layer kaolin (a), the isolines of the kaolin layer thickness (b) and the isolines of the bottom surface of the layer kaolin (c). On the abscissa and ordinate axis, rectangular conventional coordinates X and Y in meters are indicated. The height system is Baltic

між цими параметрами немає (рис. 5). У верхній частині покладу каолінів присутні ділянки озалізнення (вміст Fe_2O_3 більше 0,5%). В окремих свердловинах озалізнені прошарки присутні в середині покладу каолінів. Аналіз кривих розподілу вмісту оксидів та індексу білизни дозволяє констатувати, що в деяких свердловинах (наприклад, 501, 503, 521) наявний обернений кореляційний зв'язок значень індексу білизни із вмістом Fe_2O_3 , а саме: зменшення із глибиною вмісту Fe_2O_3 та збільшення індексу білизни (див. рис. 5). У свердловині 521 та інших існує пряма залежність між вмістом Fe_2O_3 та TiO_2 . У свердловині 523 й інших показник індексу білизни каолінів у межах значного інтервалу глибин має обернений кореляційний зв'язок із вмістом TiO_2 . В окремих свердловинах, у вертикальному перетині, на різних інтервалах глибин існує прямий або зворотний кореляційний зв'язок між

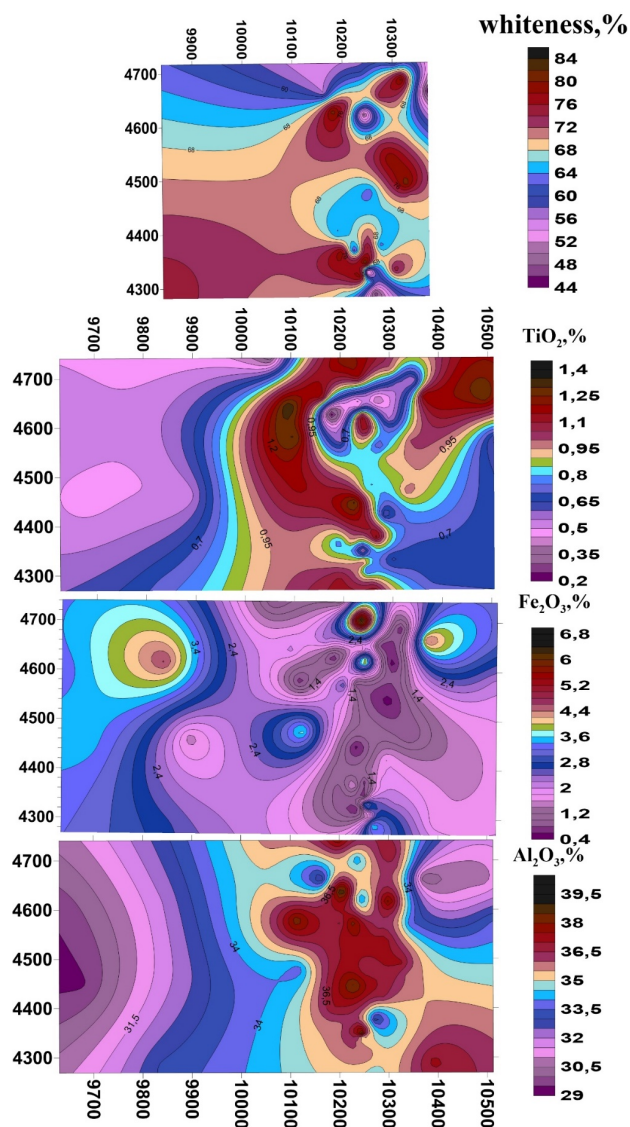


Рис. 4. Просторовий розподіл середнього вмісту (у %) оксидів TiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , індексу білизни (у %) у товщі елювіальних каолінів. За віссю абсцис і ординат вказано прямокутні умовні координати X і Y у метрах

Fig. 4. Spatial distribution of average contents (in %) oxides Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 and the whiteness index (in %) in the eluvial kaolin layer. On the abscissa and ordinate axis, rectangular conventional coordinates X and Y in meters are indicated

вмістом Fe_2O_3 і TiO_2 та індексом білизни, або ж кореляційні зв'язки відсутні. За вмістом Fe_2O_3 та TiO_2 каоліни є невитриманими. Коефіцієнти варіації, установлені геологами-виробничниками під керівництвом І.П. Шепеля, такі: Fe_2O_3 – 53%; TiO_2 – 61,8%. Кореляція вмісту Al_2O_3 з індексом білизни здебільшого пряма, іноді обернена (свердл. 523; див. рис. 5 з). Кореляція вмісту Al_2O_3 з вмістом оксидів заліза та титану здебільшого обернена, однак у межах окремих інтервалів глибини наявний прямий кореляційний зв'язок.

Оцінку запасів і технологічної якості сировини здійснив колектив геологів під керівництвом І.В. Шепеля.

За запасами родовище належить до дрібних, а за технічними умовами каолін незбагачений придатний як сировина для фарфорової та фаянсової продукції.

На думку геологів-виробничників, у виробництві керамічних виробів для проб із низькою та дуже низькою механічною міцністю необхідно додавати зміцнювальну домішку – перевідкладені (вторинні) каоліни. Піщаний залишок придатний для використання для будівельних робіт, як заповнювач для бетонів, як матеріал для обладнання дорожнього покриття, для виробництва силікатних матеріалів автоклавного твердіння.

Висновки

1. Узагальнення й аналіз матеріалів виробничих звітів дозволили конкретизувати уявлення щодо речовинного складу та зональності кори вивітрювання й елювіальних каолінів, які утворилися вивітрюванням гнейсів тетерівської серії та гранітів, пегматитів, мігматитів житомирського комплексу.

2. Поклад кондиційних каолінів утворює три зближені лінзи та має складну морфологію, нерівну підшову та покрівлю з підвищеннями, западинами, мінливу товщину. Абсолютні відмітки підшови коливаються в межах від 191,5 до 227,4 м, покрівлі – від 198,6 до 230,09 м. Товщина покладу каолінів невитримана, змінюється від 1,0 до 28,5 м, зумовлена рельєфом їх підшови та покрівлі (глибиною ерозійного зрізу). На окремих ділянках пониженням у рельєфі підшови відповідають найбільші товщини каолінів.

3. Розподіл у каолінах середнього вмісту Fe_2O_3 , TiO_2 , Al_2O_3 та показника білизни за латераллю є невитриманим. Установлено переважний прямий кореляційний зв'язок між вмістом у каолінах Al_2O_3 та TiO_2 , здебільшого зворотний – між вмістом Fe_2O_3 та TiO_2 , а також між Al_2O_3 та Fe_2O_3 . На більшій частині родовища існує обернений кореляційний зв'язок показника білизни каолінів із середнім вмістом у них Fe_2O_3 та прямий – із середнім вмістом TiO_2 , лише на окремих ділянках ці зв'язки мають обернений характер.

4. З'ясовано, що у вертикальному перетині каолінів показник білизни здебільшого (за винятком окремих інтервалів) має прямий кореляційний зв'язок із вмістом Al_2O_3 . Зазвичай показник білизни низький у нижній і верхній частинах покладу, іноді в середній. Це пов'язано з тим, що в цих інтервалах покладу каолінів наявні ділянки озалізнення та підвищеного вмісту оксиду титану. Іноді високі показники білизни наявні за високого вмісту TiO_2 і низького Fe_2O_3 або ж навпаки. Кореляція вмісту Al_2O_3 із вмістом оксидів заліза здебільшого обернена, однак у межах окремих інтервалів глибини наявний прямий кореляційний зв'язок. Кореляція вмісту Fe_2O_3 та TiO_2 переважно пряма, лише в межах окремих інтервалів вона обернена.

5. Проведені дослідження дозволяють стверджувати, що поклад каолінів має мінливу товщину, нерівномірний розподіл основних породоутворювальних оксидів за латераллю й у вертикальному перетині, невитримані якісні параметри покладу. Згідно з постановою Кабінету Міністрів України «Про затвердження

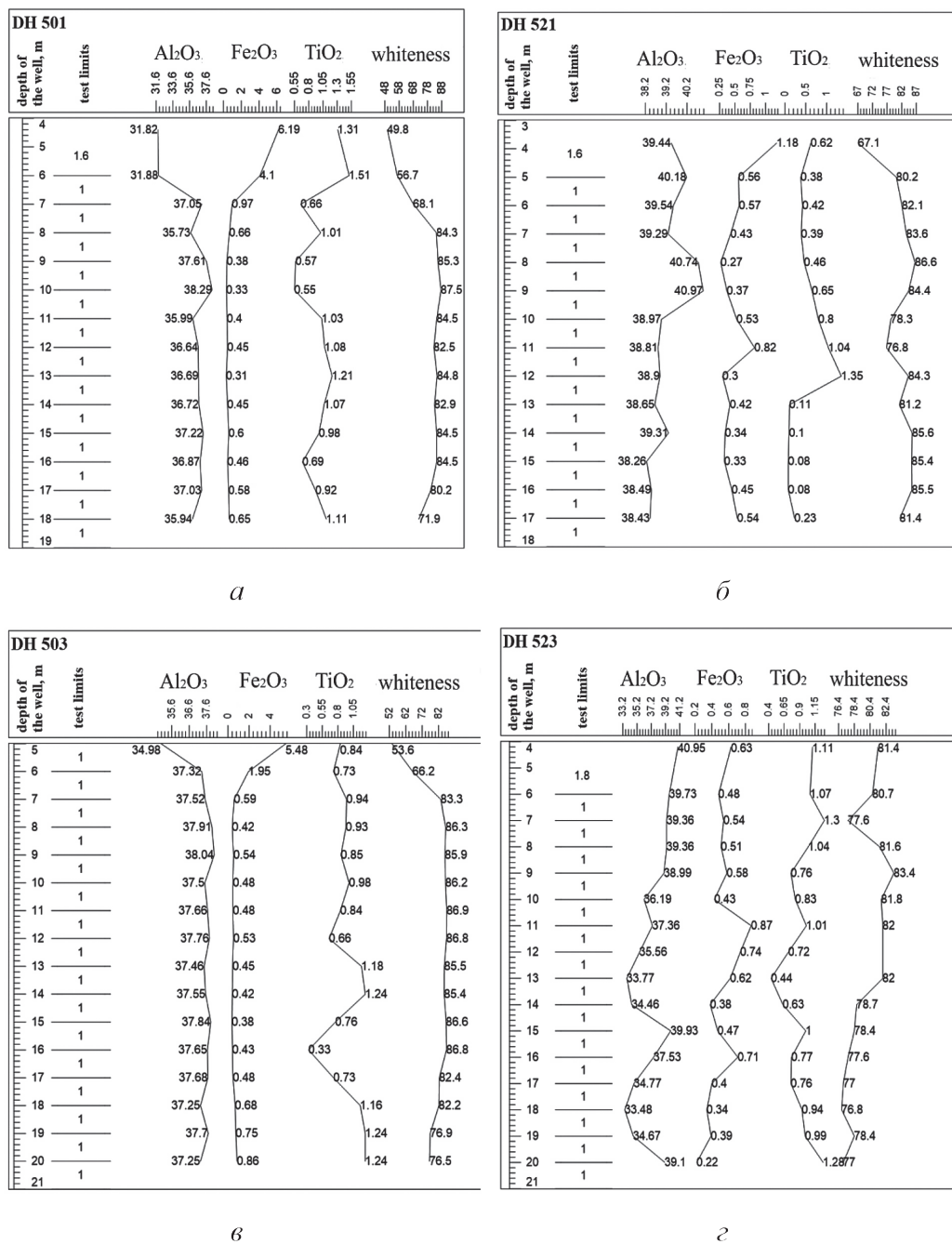


Рис. 5. Вертикальна мінливість індексу білизни елювіальних каолінів і вмісту (у %) у них Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 : а – свердл. 501; б – свердл. 521; в – свердл. 503; г – свердл. 523

Fig. 5. Vertical variability of the whiteness index of eluvial kaolins and their content (in %) of Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 : a – well 501; б – well 521; в – well 503; г – well 523

Класифікації запасів і ресурсів корисних копалин державного фонду надр» належить до 3 групи класифікації запасів і прогнозних ресурсів твердих корисних копалин [5].

6. Отримані результати дозволили встановити причинно-наслідкову зумовленість геологічної неоднорідності порід кристалічного фундаменту в межах Шаберівського родовища з морфологією, зональністю

та речовинним складом кори вивітряння і, як наслідок, з неоднорідними морфологією, внутрішньою будовою, товщиною та якісними параметрами покладу елювіальних каолінів.

7. Створені картографічні моделі відображають основні структурно-літологічні та якісні показники родовища, отже, дозволяють конкретизувати ділянки високоякісних каолінів у його межах.

Література

- ГОСТ 16680-79. Каолин обогаченний. Метод определения белизны. *Издательско-полиграфический комплекс «Издательство стандартов»*. Москва, 1999. 4 с.
- Ковальчук М.С. Геолого-генетичні моделі осадових формаційних одиниць фанерозою України – основа експертної оцінки родовищ корисних копалин та інформаційного супроводу видобувних робіт. *Соціум і науки про Землю* : тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції, 21–23 вересня 2017 р., м. Запоріжжя. Запоріжжя, 2017. С. 32–33.
- Ковальчук М.С. Геолого-генетичні моделі рудоносних кір вивітрювання та продуктів їх розмиву і перевідкладення. *Здобутки і перспективи розвитку геологічної науки в Україні* : збірник тез Наукової конференції, присвяченої 50-річчю Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М.П. Семененка, 14–16 травня 2019 р., м. Київ : у 2-х т. Київ : НАН України, Ін-т геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка. 2019. Т. 2. С. 53–54.
- Металічні і неметалічні корисні копалини України. Т. 2 : Неметалічні корисні копалини / Д.С. Гурський та ін. ; ред. : М.П. Щербак, С.В. Гошовський. Київ ; Львів : Центр Європи, 2006. 552 с.
- Про затвердження Класифікації запасів і ресурсів корисних копалин державного фонду надр: постанов Кабінету Міністрів України від 5 травня 1997 р. № 432, із змінами та доповненнями № 850 від 5 липня 2004 р.; № 264 від 26 березня 2008 р.; № 764 від 19 вересня 2018 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/432-97-%D0%BF#Text> (дата звернення: 18.03.2022).
- Геологія і геолого-економічна оцінка родовищ каоліну України / Г.І. Рудько та ін. ; за ред. Г.І. Рудька. Чернівці : Букрек, 2015. 336 с.
- Русько Ю.А. Каолинизация и каолины Украинского цита. Киев : Наукова думка, 1976. 158 с.

8. Фігура Л.А., Ковальчук М.С. Структурно-літологічна модель Дубрівського родовища елювіальних каолінів. *Геологічний журнал*. 2022. № 2 (379). С. 100–113. DOI: 10.30836/igs.1025-6814.2022.2.253493.

References

- HOST 16680-79 (1999). Kaolyn obohashchennyi. Metod opredeleniya belyznyi. IPK Izdatelstvo standartov. Moskva, 4 p.
- Kovalchuk M.S. (2017). *Society and Earth Sciences* : Theses addendum. international science and practice conf., September 21–23, 2017, Zaporizhia. Zaporizhzhia, 2017. Pp. 32–33.
- Kovalchuk M.S. (2019). Collection of theses of the scientific conference dedicated to the 50th anniversary of the Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation named after M.P. Semenenko, May 14–16, 2019, Kyiv. In 2 volumes. Kyiv : NAS of Ukraine, Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation named after M.P. Semenenko, 2019. Vol. 2. Pp. 53–54.
- Metallic and non-metallic minerals of Ukraine. Volume. 2 : Non-metallic minerals. D. Gursky and others ; ed.: M. Shcherbak, S. Goshovskiy. Kyiv ; Lviv : Center of Europe, 2006. 552 p.
- Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine “On Approval of the Classification of Mineral Reserves and Resources of the State Subsurface Fund” dated May 5 1997 № 432, with amendments and additions № 850 dated July 5, 2004 ; № 264 dated 26.03.2008 ; № 764 dated 19.09.2018. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/432-97-%D0%BF#Text> (accessed: March 18, 2022).
- Rudko H.I., Ozerko V.M., Shepel I.V. (2015). Geology and geological and economic assessment of kaolin deposits of Ukraine / edited by G.I. Rudka. Chernivtsi : Bukrek. 336 p.
- Rusko Yu.A. (1976). Kaolinization and kaolins of the Ukrainian shield. Kyiv : Naukova dumka. 158 p.
- Figura L.A., Kovalchuk M.S. (2022). Structural and lithological model of the Dubrivskoye deposit of eluvial kaolins. *Geological journal*. № 2 (379). P. 100–113. DOI: 10.30836/igs.1025-6814.2022.2.253493.

STRUCTURAL AND LITHOLOGICAL MODEL OF THE SHABERIVSKE DEPOSIT OF ELUVIAL KAOLIN

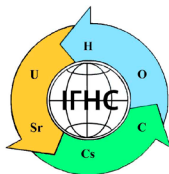
Figura L.A., Kovalchuk M.S.

Figura L.A., PhD (Geology), Institute of Geological Sciences, NAS of Ukraine, ORCID: 0000-0001-8009-2854, liuba_figura@ukr.net

Kovalchuk M.S., D. Sc. (Geology), Professor, Institute of Geological Sciences, NAS of Ukraine, ORCID: 0000-0001-9265-9707, kms1964@ukr.net

Data on the zonation and material composition of the weathering crust within the Shaberivske deposit of the eluvial kaolin, which is located in Baranivka district of Zhytomyr region and is the part of the Dubrivsko-Khmelyvsky kaolin district of Volyn kaolin subprovince. The minerals of the Shaberivske deposit are normal and alkaline kaolins, which were formed due to the weathering of granitoids. Some areas of conditioned kaolin are present in the upper part of the weathering crust of gneisses. On the basis of coordinates and the description of wells the relief of a sole and a surface of a deposit of eluvial kaolins, and also lateral change of their thickness is investigated. Layer-like kaolin deposits have been found to have complex morphology and internal structure. It was established that the greatest thicknesses of kaolins are confined to depressions in the topography of their soles. The maximum thicknesses of kaolin are inherent in the areas of the weathering crust formed by the weathering of granites and migmatites. Based on the results of well testing and chemical analysis of kaolins, the distribution of the contents of Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 oxides and the index of whiteness along the lateral and vertical sections of kaolins was investigated. It was established that in the greater part of the deposit, beyond the lateral, there is a direct correlation between the average content of Al_2O_3 and TiO_2 and the reverse – between the content of Fe_2O_3 and TiO_2 and between Al_2O_3 and Fe_2O_3 . In the vertical section of the kaolin layer, the distribution of oxides of iron, titanium, aluminum and whiteness index is uneven. As a rule, these indicators do not always correlate with each other. In general, the deposit is characterized by an uneven sole and surface with elevations and depressions, an uneven lateral distribution of the thickness of the kaolin deposit. The lateral distribution of the average contents of iron oxides, titanium and the whiteness index, as well as the vertical distribution of the contents of iron oxides, aluminum, titanium and the whiteness index, is uneven. It was found that the geological heterogeneity of the rocks of the crystalline foundation was reflected in the structure and material composition of the weathering crust and, accordingly, in the structure (character of the relief of the sole and surface, thickness) and quality parameters (whiteness, harmful impurities) of eluvial kaolins

Key words: Volyn kaolin subprovince, Dubrivsko-Khmelyvsky kaolin district, eluvial kaolins, Shaberivske deposit, structural-lithological model.



DOI

УДК [550.8.05:553.493.53](477. 41-37)

Крошко Ю.В., Ковальчук М.С.

Крошко Ю.В., кандидат геологічних наук, Інститут геологічних наук НАН України, ORCID: 0000-0002-7601-7760, ykrosh.79@ukr.net
Ковальчук М.С., доктор геологічних наук, професор, Інститут геологічних наук НАН України, ORCID: 0000-0001-9265-9707, kms1964@ukr.net

РУДОНОСНІСТЬ ВІДКЛАДІВ НОВОПЕТРІВСЬКОЇ СВИТИ В МЕЖАХ МЕДВИНСЬКОЇ І СТРОКІВСЬКОЇ ДІЛЯНОК

Наведено короткі відомості щодо геологічної будови Медвинської і Строківської ділянок, у межах яких, у відкладах новопетрівської світи полтавської серії неогену, локалізовані розсипи цирконій-титанових мінералів. У підвищеній кількості у розсипах містяться ільменіт, циркон, лейкоксен, дистен, рутил, анатаз, які рівномірно розсіяні по усій породі або групуються у збагачені ними прошарки. Розсипи утворилися за континентальних фаціальних умов і локалізовані у пісках середньої підсвіти новопетрівської світи. На підставі координат і опису свердловин досліджено рельєф підшоши і поверхні пісків, що містять рудні мінерали, а також зміну товщини рудних пісків за латераллю. Встановлено, що в межах Медвинської і Строківської ділянок існує пряма кореляція між рельєфом підшоши і покрівлі пісків новопетрівської світи. У межах Медвинської ділянки кореляційний зв'язок між товщиною пісків та рельєфом їхньої підшоши і покрівлі відсутній. У межах Строківської ділянки встановлено обернений кореляційний зв'язок між цими показниками. Координати та результати опробування свердловин стали основою для дослідження поширення середніх вмістів рутилу, ільменіту і циркону за латераллю. З'ясовано, що для обидвох ділянок чітко виражена пряма кореляція між середніми вмістами цих мінералів існує лише частково, в межах локальних, невеликих об'єктів. У межах Медвинської ділянки найкраще корелюються ільменіт і циркон, натомість у межах Строківської ділянки – рутил і циркон. Аналіз розподілу вмістів ільменіту, циркону, лейкоксену, дистену та рутилу з анатазом у вертикальному перетині свердловин показав, що у більшості випадків існує прямий кореляційний зв'язок між усіма дослідженими рудними мінералами. Подекуди загальний кореляційний зв'язок порушується одним з мінералів, рідше – декількома. Здебільшого рудні мінерали утворюють один чітко виражений гіпсометричний рівень збагачення, іноді два і, рідкісно, три.

Ключові слова: Новопетрівська світа, міоцен, розсипи, циркон, ільменіт, Медвинська і Строківська ділянки.

Вступ. Титан і цирконій належать до ресурсів критичної сировини та мають велике значення для економіки й оборони країни. Титан має широке застосування в авіакосмічній, суднобудівній, автомобілебудівній, хімічній та ін. промисловості; цирконій використовують для обладнання ядерних реакторів, в автомобіле-, літако-, ракетобудуванні, у хімічній промисловості, для виготовлення фарфору, фаянсу та ін.

Україна володіє найбільшими в Європі запасами й ресурсами титану [3–6]. З різним ступенем деталізації розвідано 26 родовищ титанових руд; 48 родовищ мають попередню оцінку позабалансових запасів і ресурсів титану, сотні рудопроявів титану мають різний ступінь дослідженості [6]. Державним балансом запасів корисних копалин України враховано 15 родовищ, з яких лише 4 розробляють [6]. Запаси титанових руд, зосереджені у корінних, елювіальних (мезозой-кайнозойських) і розсипних (від нижньокрейдових до сучасних) родовищах. У промисловій

експлуатації знаходяться лише розсипні родовища, які локалізуються в різновікових (від нижньокрейдових до неогенових) різнофаціальних (алювіальних, мілководно-морських) відкладах мезозой-кайнозою [3–5], які залягають близько від поверхні й їх експлуатація є економічно доцільною. Елювіальні розсипи розробляються лише частково при розробці розсипних родовищ, у разі залягання продуктивних відкладів на корі вивітрювання материнських ільменітовмісних кристалічних порід фундаменту. Більша частина запасів елювіальних покладів циркон-титанових руд залишається поза видобуванням.

Основою мінеральної бази розсипів є ільменітові й комплексні рутил-циркон-ільменітові розсипи [6]. В Україні налічується більше десятка похованих комплексних циркон-титанових родовищ, близько 250 рудопроявів і близько півтора тисячі пунктів мінералізації [5]. Головними районами поширення давніх циркон-ільменітових розсипів є Український щит,

Дніпровсько-Донецька і Конксько-Ялинська западини [3–6]. Найбільшим ресурсним потенціалом володіє Український щит, який виокремлено у ранзі субпровінції. У межах субпровінції Українського щита виокремлено розсипні зони, розсипні райони, розсипні поля, родовища, рудопрояви і пункти мінералізації.

Запаси родовищ, що розробляються, вичерпуються. Наростити мінерально-сировинну базу держави можна завдяки відкриттю нових об'єктів промислового значення у межах уже освоєних гірничою промисловістю районів, а також на нових перспективних територіях і ділянках, які визначено за результатами раніше проведених робіт і методом аналогії [2]. Наразі постає потреба розробляти родовища, що залягають на значно більших глибинах від поверхні зі складними інженерно-геологічними, гідрогеологічними умовами, або ж здійснювати роботи з довивчення вже відкритих розсипних рудопроявів чи родовищ, які на сьогоднішній день не розробляються. До таких рудопроявів належать розсипи поблизу відомих родовищ, зокрема Тарасівського. Серед низки розсипів поблизу Тарасівського родовища є розсипи в межах Медвинської і Строківської ділянок, які разом з іншими розсипами можуть слугувати перспективною базою для розширення сировинних запасів Тарасівського родовища. Основою для прогнозу, експертної оцінки, а також інформаційного супроводу розсипів є їх геолого-генетичні моделі зі структурно-літологічним наповненням [1].

Матеріали та методи дослідження. Методико-методологічною основою досліджень були напрацювання відділу літології Інституту геологічних наук НАН України зі структурно-літологічного моделювання розсипів важких мінералів, які широко апробовані на золототомісних, ільменітових і циркон-ільменітових розсипах Українського щита та оприлюднені на наукових конференціях різного рівня, у наукових статтях та колективних монографіях [7].

Фактичним матеріалом для досліджень розсипів Медвинської і Строківської ділянок були такі виробничі звіти: Жовинський Е.Я. та ін., 1961 р. «Государственная геологическая карта м-ба 1:200 000 лист М-35-XXIV (Сквира). (Отчет ГСП № 2 Правобережной ГЭ за 1959–1961 г.г.)»; Шунько В.І., 1962 р. «Комплексная геологическая карта территории листа М-36-ХVIII (Фастов)»; Мельничук Е.В., 1962 р. «Отчет о геологической съемке масштаба 1:50000 листов М-35-96-А,Б,В,Г геологосъемочной партии № 37 Правобережной ГЭ по работам 1960–1962 г.г.»; Безверхній Г.С. та ін., 1966 р. «Геологическая карта масштаба 1:50000 листов М-35-83-Б; 84-А,Б; 95-Б,Г. (Отчет ГСП-37 Правобережной ГЭ за 1962–1966 г.г.)»; Бондар І.І., 1969 р. «Отчет о результатах поисковых работ на титан, проведенных в центральной части Украинского щита Правобережной геологической экспедицией в 1966-1968 г.г.»; Бондар І.І., 1970 р. «Отчет о результатах поисковых работ на титан, проведенных в пределах Медвинского и Строкоского участков центральной части Украинского щита (Правобережная ГЭ,

1968–1970 г.г.)»; Кулик С.М. та ін., 1996 р. «Геологическое строение и полезные ископаемые бассейна рек Раставица и Каменка. Результаты геологической съемки (листы М-35-84-Б,Г) и геологического доизучения (листы М-35-84-А, В, масштаб 1:50 000 Сквирский район). (Отчет ГСО-30 за 1991–1996 г.г.)»; Виходцев М.К. та ін., 2007 р. «Оцінка перспектив титан-цирконієвих розсипів північно-східного схилу УЩ (на території діяльності ПДРГП «Північгеологія»). Тематична робота. Звіт геологорозвідувальної партії Правобережної ГЕ за 2005–2007 рр.».

На основі узагальнення, аналізу та інтерпретації матеріалів звітів з геологічного знімання території у статті подано матеріал щодо петротипів порід кристалічного фундаменту та стратиграфії і літологічних особливостей порід осадового чохла. Геологічні звіти з пошукових робіт на титан та оцінки циркон-ільменітових розсипів стали основою для характеристики відкладів полтавської серії, якісних і кількісних показників їх рудоносності. Для картографічного моделювання структури (гіпсометрії покривлі, підшви рудоносних пісків, їх товщини) та якісних показників (розподіл вмістів рудних мінералів за латераллю і у вертикальному перетині свердловин) рудоносних відкладів була створена цільова база даних, яка містить дані координат свердловин, їх опис, результати опробування. Картографічні побудови здійснювалися з використанням ГІС-технологій у програмних забезпеченнях Golden Software Strater, Golden Software Surfer.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Перші відомості про наявність циркон-ільменітових розсипів у межах Медвинської і Строківської ділянок було отримано у 1962 році під час геологічної зйомки масштабу 1:200000 Білоцерківського, Сквиського аркушів під керівництвом В.І. Шунько і Е.Я. Жовинського відповідно, а також під час геологічної зйомки масштабу 1:50000 під керівництвом Е.В. Мельничука. Згодом, у 1966 році, отримані результати були доповнені новою інформаційною базою завдяки роботам з геологічної зйомки масштабу 1:50000 під керівництвом Г.С. Безверхнього. Найбільш детальні роботи з дослідження розсипів цих ділянок були проведені геологами-виробничниками під керівництвом І.І. Бондара у 1969–1970 рр. За результатами виконаних робіт у межах Медвинської ділянки було виокремлено 11 розсипів, зокрема й найбільш продуктивні Медвинський-І (розташований в 1,4 км на схід від села Медвин) і Медвинський-ІІ (розташований на південний схід від села Медвин між селами Медвин, Щербашинці, Журжинці). У межах Строківської ділянки виокремлено Голуб'ятинський, Почуйківський та Яхнівський розсипи. Голуб'ятинський розсип найпродуктивніший, розташований поблизу села Голуб'ятин і простягається в широтному напрямку у бік села Строків. У межах Голуб'ятинського розсипу виокремлено Північно-Голуб'ятинський і Південно-Голуб'ятинський розсипи. Почуйківський розсип розташований поблизу села Почуйки і простягається в широтному напрямку до села

Яхни. Яхнівський розсип розташований між селами Яхни і Почуйки. Роботами з'ясовано параметри розсипів (площа, довжина, ширина, товщина розкривних порід, товщина рудних пластів, вмісти колективного концентрату, ільменіту, лейкоксену, рутилу, циркону, мінералів групи дистену), підраховано запаси пісків, та двоокису титану. За результатами геологічного знімання масштабу 1:50000, яке було проведено протягом 1991–1996 рр. під керівництвом С.М. Кулика в межах Голуб'ятинського розсипу були уточнені середні вмісти рудних мінералів та колективного концентрату, підраховані та затверджені перспективні ресурси категорії Р2. В подальшому при оцінці перспектив цирконій-ільменітових розсипів північно-східного схилу Українського щита у 2007 році роботами під керівництвом М.К. Виходцева були пробурені завірочні свердловини, підраховано перспективні ресурси категорії Р1 руди, умовного ільменіту, колективного концентрату та його цінних мінералів, а також двоокис титану і цирконію.

За результатами робіт протягом усіх років було зроблено висновок що більшість розсипів у межах Медвинської і Строківської ділянок є перспективними, потребують довивчення і можуть слугувати перспективною базою для розширення сировинних запасів Тарасівського родовища.

Мета роботи. Створити цілісну характеристику рудоносності пісків новопетрівської світи у межах Медвинської і Строківської ділянок.

Результати досліджень. Медвинська та Строківська ділянки розташовані в межах південно-східного і північно-західного флангів Тарасівського розсипного титано-цирконієвого родовища. В адміністративному відношенні Медвинська ділянка розташована в межах Білоцерківського (район сіл Лук'янівка, Медвин, Ківшевата, Лука) і Обухівського (околиці міста Богуслав та сіл Гута, Дибинці, Ісайки) районів Київської області і частково в Черкаському і Звенигородському районах Черкаської області. Строківська ділянка розташована в межах Білоцерківського (в районі села Рогозна) і Фастівського (район села Яхни) районів Київської області та Житомирського району (в районі сіл Строків, Голуб'ятин, Почуйки) Житомирської області. У межах цих ділянок широко поширені розсипи цирконій-титанових мінералів, які локалізуються в утвореннях новопетрівської світи полтавської серії. У стратотипі відклади новопетрівської світи поділяються на три підсвіти. У межах досліджених ділянок новопетрівська підсвіта представлена середньою підсвітою.

Медвинська ділянка. У межах ділянки кристалічний фундамент складений осадово-ефузивними породами, що зазнали метаморфізму. У геологічній будові докембрійського складчастого фундаменту беруть участь гнейси біотитові, амфібол-біотитові, рідкісно – гранат-біотитові, гранат-біотит-кордієритові, біотит-графітові, піроксен-плагіоклазові та ін. росинсько-тікицької серії, плагіограніти, граніти і мігматити біотитові, мусковіт-біотитові житомирського

і уманського комплексів підлегле поширення мають діорити і гранодіорити уманського комплексу.

Кора вивітрювання кристалічних порід поширена майже повсюдно і відсутня лише в долинах сучасних річок і давнього розмиву. Товщина кори вивітрювання 0,2–54,0 м. Кора вивітрювання переважно площового морфологічного типу і лише в зонах тектонічних порушень присутній лінійний морфологічний тип кори вивітрювання для якого характерні значно більші товщини елювію. Залежно від материнських порід кристалічного фундаменту кора вивітрювання поділяється на такі мінеральні типи: каолінітова (утворилася за рахунок вивітрювання гранітів, гнейсів біотитових); монтморилоніто-каолінітова (утворилася за рахунок вивітрювання діоритів, гранодіоритів, гнейсів амфібол-біотитових); каолініт-монтморилонітова (утворилася за рахунок вивітрювання амфіболітів). У профілі кори вивітрювання виокремлено такі зони (знизу вверх): дезинтеграції і вилюговування (товщина 0,2–39,6 м); початкового гідролізу (товщина 1,5–43,6 м); кінцевого гідролізу та окиснення продуктів вивітрювання (товщина 0,2–31,1 м). Утворення мезозою представлені осадовими відкладами альбського і сеноманського ярусів крейдової системи. Відклади альбу виповнюють давню поховану палеодолину та представлені пісками з підлеглим значенням флювіальних каолінів і прошарків піщано-гравійних порід. Відклади сеноману представлені пісковиками з підлеглим значенням глауконіто-кварцових пісків. Розріз кайнозною починається утвореннями буцацької серії середнього палеогену, які залягають на розмитій поверхні кори вивітрювання і відкладах крейдової системи. Відклади представлені пісками (від крупнозернистих у нижній частині до дрібнозернистих – у верхній), вуглистими глинами. Менш поширені пісковики і буре вугілля. Відклади київської світи залягають на розмитій поверхні кори вивітрювання і відкладах буцацької серії. Складені відклади київської світи грубозернистими глауконіто-кварцовими пісками, алевритами, алевритовими глинами, мергелями. У пісках присутні жовнові стяжіння фосфоритів. Відклади харківської світи залягають на розмитій поверхні кори вивітрювання і відкладах київської світи та представлені переважно пісками дрібнозернистими, рідкісно алевритовими, глауконіто-кварцовими, з прошарками лігніту, торфу, вуглистої речовини і конкреціями марказиту; з підлеглим поширенням глин. Відклади неогенової системи представлені піщано-глинистими породами полтавської серії і нерозчленованою товщею середньо-верхньосарматського під'ярусів.

Відклади середньонепетрівської підсвіти, в яких локалізовані розсипи цирконій-титанових мінералів, поширені повсюдно (окрім долин сучасних річок). Залягають вони на розмитій поверхні усіх порід, що залягають нижче за геологічним розрізом, на корі вивітрювання і кристалічних породах. Товщина відкладів – 0,3–43,3 м. Утворення новопетрівської світи представлені пісками, пісковиками і бентонітовими

глинами. Піски кварцові, іноді з глауконітом, з різною кількістю глинистої складової, крупнозернисті, дрібнозернисті, алевритисті. Серед товщі кварцових пісків трапляються прошки сірувато-бурих вуглистих пісків. Загалом, для пісків характерна горизонтальна, коса, хвиляста та інші типи шаруватості. Для товщі пісків характерна ритмічність. Кожен наступний ритм починається з піску більш крупнозернистого, аніж у шарі, що залягає нижче. Окрім ільменіту і циркону, піски в різній кількості містять лейкоксен, рутил, анатаз, дистен, силіманіт, монацит, ставроліт, турмалін. У межах новопетрівської світи геологорозвідувальними роботами виокремлено 13 розсіпів, протяжністю 1,6–21,0 км, шириною 0,4–2,5 км. Товщина рудних пісків 0,3–7,9 м. Як правило, розсіп складена одним рудним пластом, іноді трапляються ділянки, де рудних пластів декілька і вони розмежовані пісками товщиною 0,9–15,1 м, в яких вміст рудних мінералів незначний. Залягають розсіпи на глибинах

від 17,3 м до 94,8 м від земної поверхні. На підставі узагальнення і аналізу даних виробничих звітів встановлено, що у межах Медвинської ділянки вміст рудних мінералів такий (кг/м³): ільменіту – 0,6–87,4; лейкоксену – 0,08–4,8; рутилу+анатазу – 0,4–33,2; циркону 0,2–8,0; дистену+силіманіту – 0,6–33,2. Вміст колективного концентрату – 10,4–181,8 кг/м³.

Використовуючи матеріали виробничих звітів, координати, опис і опробування свердловин нами досліджено рельєф поверхні і підшови відкладів новопетрівської світи, товщину розсіповмісних пісків (рис. 1), характер зміни вмістів рудних мінералів за латераллю (рис. 2) та у вертикальному перетині свердловин (рис. 3).

Поверхня підшови і покрівлі відкладів новопетрівської світи у межах Медвинської ділянки нерівномірна, з западинами і підвищеннями. Встановлено, що існує пряма кореляція між рельєфом підшови і покрівлі пісків новопетрівської світи (див. рис. 1).

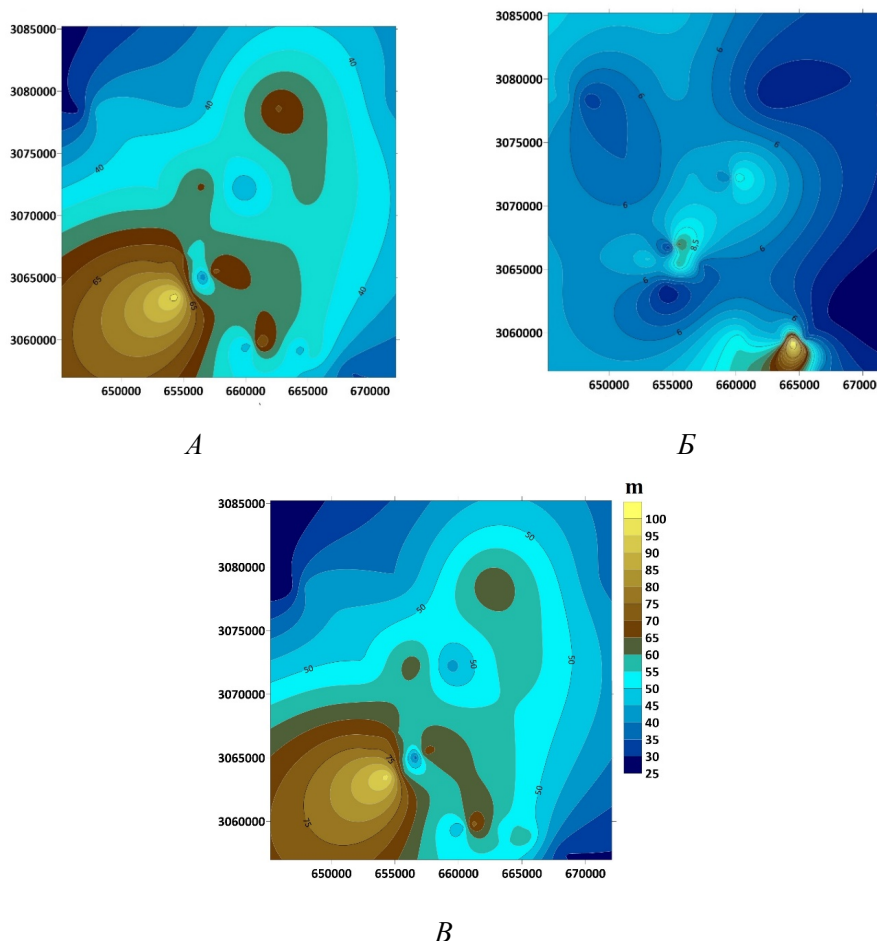


Рис. 1. Медвинська ділянка. Карти ізогіпс верхньої (а) і нижньої (б) поверхні шару піску новопетрівської світи та ізопахіт товщини шару піску (б). По осі абсцис та ординат вказано прямокутні координати X і Y в метрах

Fig. 1. Medvynska area. Maps of isogypses of the top (a) and of the bottom (b) surface of the layer sand of Novopetrivska suite and isopachite of the thickness of the layer sand (b). The abscissa and ordinate axes show the rectangular coordinates X and Y in meters

Розподіл середнього вмісту рудних мінералів за латераллю не рівномірний (див. рис. 2). Добре виражена пряма кореляція між середнім вмістом цих мінералів притаманна лише на окремих локальних ділянках. Найкраще корелюються між собою ільменіт і циркон.

У вертикальному перетині пісків новопетрівської світи рудні мінерали здебільшого утворюють один горизонт збагачення (див. рис. 3), проте часто трапляються випадки, коли таких горизонтів збагачення є декілька. У вертикальному перетині свердловин у більшості випадків існує прямий кореляційний зв'язок між вмістом усіх рудних мінералів, що досліджувалися. Іноді цей зв'язок може порушуватися лейкоксомом, рідше іншими мінералами.

Відклади нерозчленованого середньо-верхньосарматського під'ярусу залягають на відкладах новопетрівської світи і представлені строкатоколірними глинами, меншою мірою сірими, вохристо-жовтими, різнозернистими, глинистими пісками і пісковиками та вапняками. Нерозчленовані верхньопліоценові і нижньочетвертинні відклади представлені бурими і червоно-бурими глинами. Відклади четвертинної системи представлені лесоподібними суглинками, суглинками, пісками, сучасними ґрунтами та ін.

Строківська ділянка. В геологічній будові ділянки беруть участь докембрійські породи кристалічного фундаменту та осадові утворення кайнозою. Докембрійський складчастий фундамент складений гнейсами амфібол-біотитовими, біотитовими, амфіболітами,

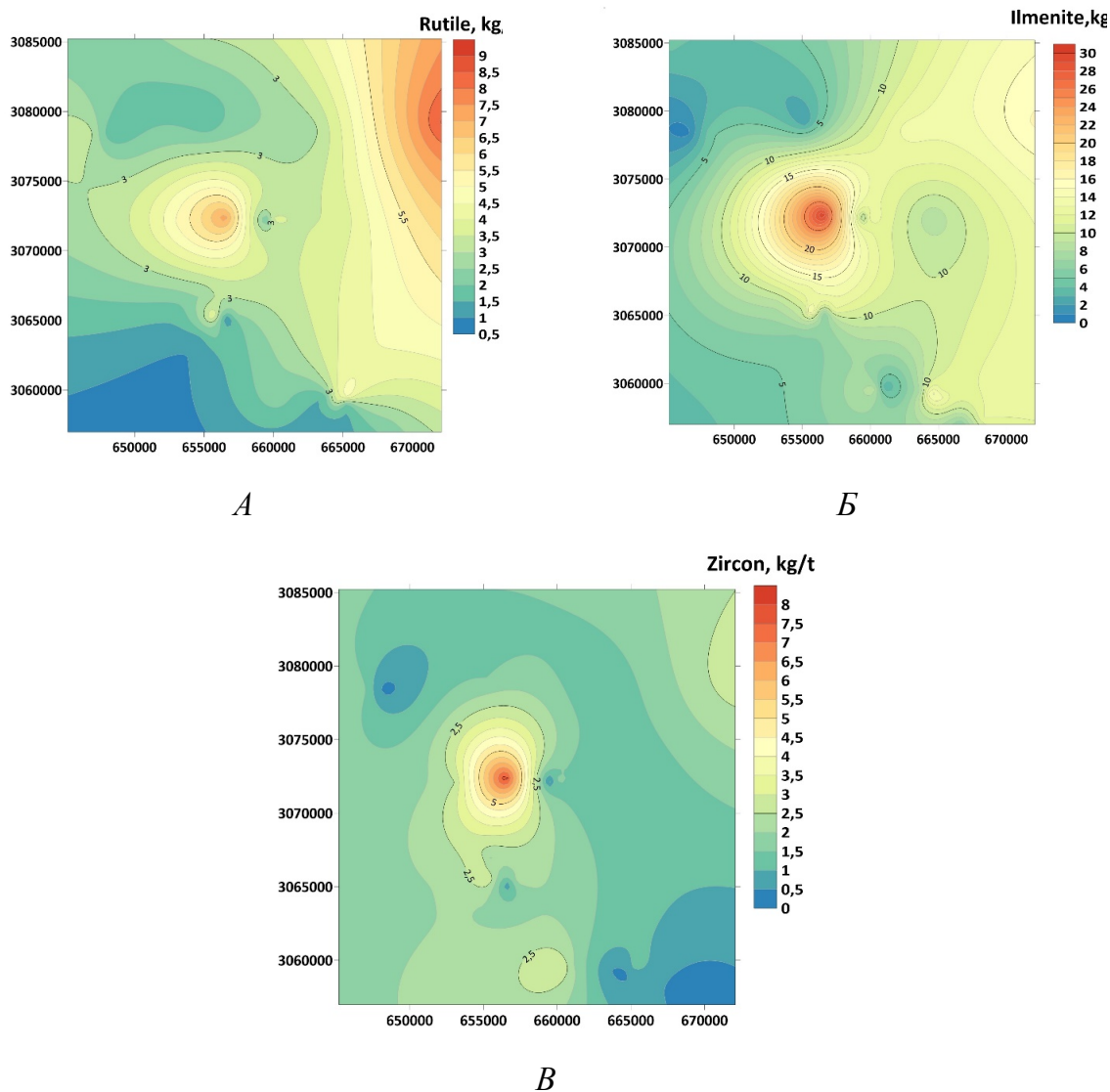


Рис. 2. Латеральна зміна вмісту (кг/т) рутилу, циркону й ільменіту в пісках новопетрівської світи Медвинської ділянки

Fig. 2. Lateral change in the average contents (kg/t) of rutile, zircon, and ilmenite in the sands of the Novopetrivska suite of the Medvynska area

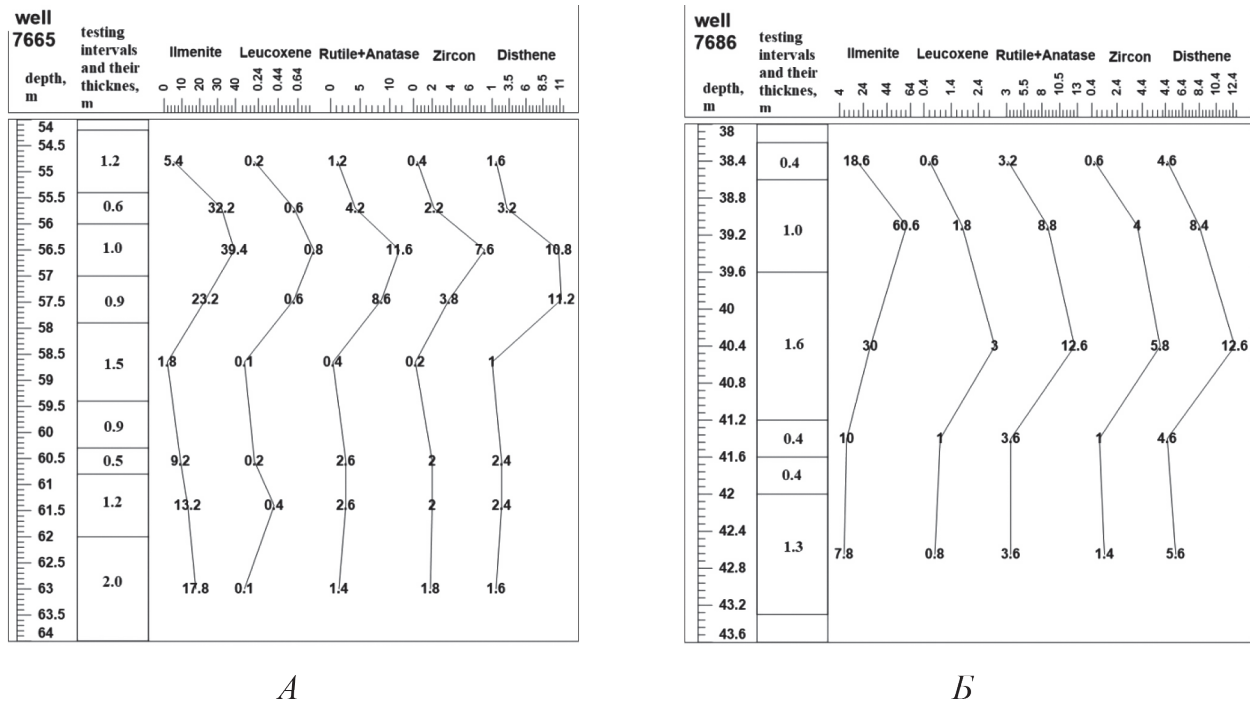


Рис. 3. Медвинська ділянка. Розподіл вмісту (кг/м³) рудних мінералів новопетрівської світи у вертикальному перетині свердловин: а – свердловина 7665; б – свердловина 7686

Fig. 3. Medvynska area. Distribution of the contents (kg/m³) of ore minerals of the Novopetrivska suite in the vertical cross section of the wells: a – well 7665; b – well 7686

габро-амфіболітами росинсько-тікицької серії; гранітами і мігматитами біотитовими, апліт-пегматоїдними гранітами уманського комплексу; гранодіоритами, діоритами амфібол-біотитовими, плагіогранітами біотитовими бердичівського комплексу.

На породах кристалічного фундаменту майже повсюдно залягає їх кора вивітрювання товщиною до 42,3 м. Залежно від петротипу материнських порід кристалічного фундаменту кора вивітрювання поділяється на такі мінеральні типи: каолінітова (утворилася за рахунок вивітрювання порід кислого складу); каолінит-монтморилонітова і гідрослюдиста (утворилася за рахунок вивітрювання порід основного складу).

Над розмитою поверхнею кори вивітрювання залягають осадові відклади бучацької, харківської, полтавської серій, товща строкатих глин міоцену і відклади четвертинної системи. Утворення бучацької серії мають обмежене поширення і представлені пісками різнозернистими, кварцовими, товщиною 1,7 м. Поширення відкладів київської світи харківської серії просторово співпадає з областю поширення відкладів бучацької серії. Представлені відклади глинами, пісками і рідкісно опоками. Товщина відкладів 9,5 м. Відклади харківської серії представлені глинами жовтувато-зеленуватими, алевритами і пісками товщиною до 3,3 м.

Відклади полтавської серії нижнього неогену представлені новопетрівською світою та мають значне поширення, залягають з розмивом на корі вивітрювання

і відкладах бучацької та харківської серій. Відклади новопетрівської світи представлені пісками різнозернистими, глинистими, кварцовими з глауконітом (вміст зростає до підшови шару) та прошарками бентонітових глин. У гранулометричному складі пісків переважає фракція 0,25–0,1 мм. Вміст глинистої складової не перевищує 22%. Товщина пісків не постійна і змінюється від 0,7 м до 15,2 м. Рудні мінерали рівномірно розсіяні по усій породі або утворюють прошарки незначної товщини. На підставі узагальнення і аналізу даних виробничих звітів встановлено, що у межах Строківської ділянки вміст рудних мінералів такий (кг/м³): ільменіту – 3,4–24,2; лейкоксену – 0,2–2,4; рутилу+анатазу – 1,4–10,0; циркону 1,6–10,6; дистену+силіманіту – 1,0–8,0. Вміст колективного концентрату – 10,8–59,4 кг/м³.

Використовуючи матеріали виробничих звітів, координати, опис і опробування свердловин, нами досліджено рельєф поверхні і підшови відкладів новопетрівської світи, товщину розсиповмісних пісків (рис. 4), характер зміни вмісту рудних мінералів за латераллю (рис. 5) та у вертикальному перетині свердловин (рис. 6).

Поверхня підшови і покрівлі відкладів новопетрівської світи у межах ділянки більш менш плавна з загальним нахилом з південного-заходу на північний схід.

Існує пряма кореляція між рельєфом підшови і покрівлі пісків новопетрівської світи. Аналіз

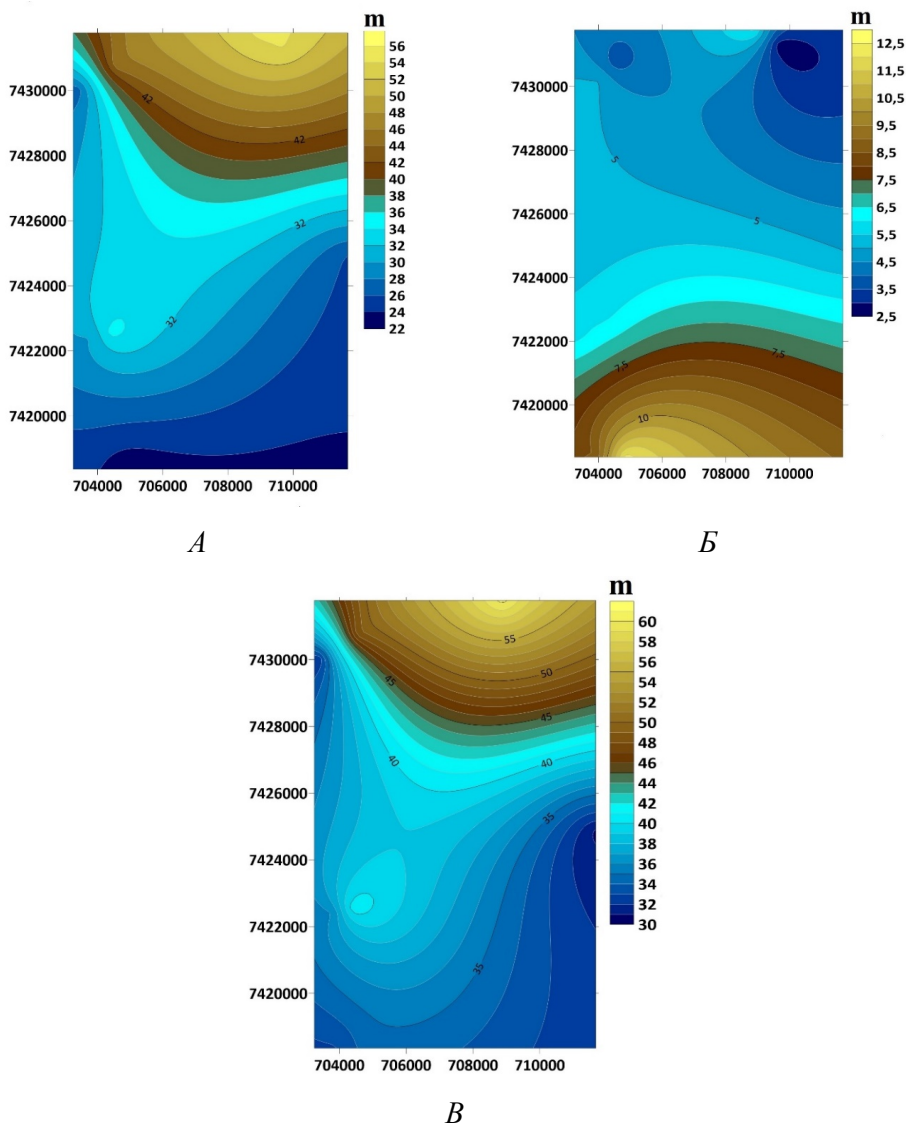


Рис. 4. Строківська ділянка. Карти ізогіпс верхньої (а) і нижньої (б) поверхні шару піску новопетрівської світи та ізопахіт товщини шару піску (в). По осі абсцис та ординат вказано прямокутні координати X і Y в метрах

Fig. 4. Strokivska area. Maps of isogypses of the top (a) and of the bottom (c) surface of the layer sand of Novopetrivska suite and isopachite of the thickness of the layer sand (b). The abscissa and ordinate axes show the rectangular coordinates X and Y in meters

картографічних побудов показав, що товщини пісків новопетрівської світи не витримані в межах ділянки і найбільші їх товщини приурочені до понижених ділянок їх підосви (див. рис. 4). Таким чином, у межах ділянки кореляційний зв'язок між товщиною пісків та рельєфом їхньої підосви обернений.

Аналіз латерального розподілу середніх вмістів ільменіту та циркону в пісках новопетрівської світи показав просторову сумісність ділянок з найвищим їх вмістом (див. рис. 5).

Аналіз розподілу вмісту рудних мінералів у вертикальному перетині свердловин показав, що у більшості випадків існує прямий кореляційний зв'язок між усіма дослідженими рудними мінералами (див. рис. 6).

З'ясовано, що в товщі пісків новопетрівської світи здебільшого присутній один рудний горизонт, проте трапляються випадки, коли таких горизонтів збагачення є декілька (див. рис. 6а). Як правило, існує прямий кореляційний зв'язок з вертикальним розподілом вмісту усіх мінералів.

Товща строкатих глин міоцену перекриває відклади полтавської серії та представлена глинами, пісками, пісковиками. У пісках встановлено підвищені вмісти титано-цирконієвих мінералів (від 8,5 до 17,5 кг/т). Сумарна товщина відкладів – 3,0–25,7 м.

Відклади четвертинної системи представлені різноманітними, суглинками, пісками, глинами та сучасними ґрунтами.

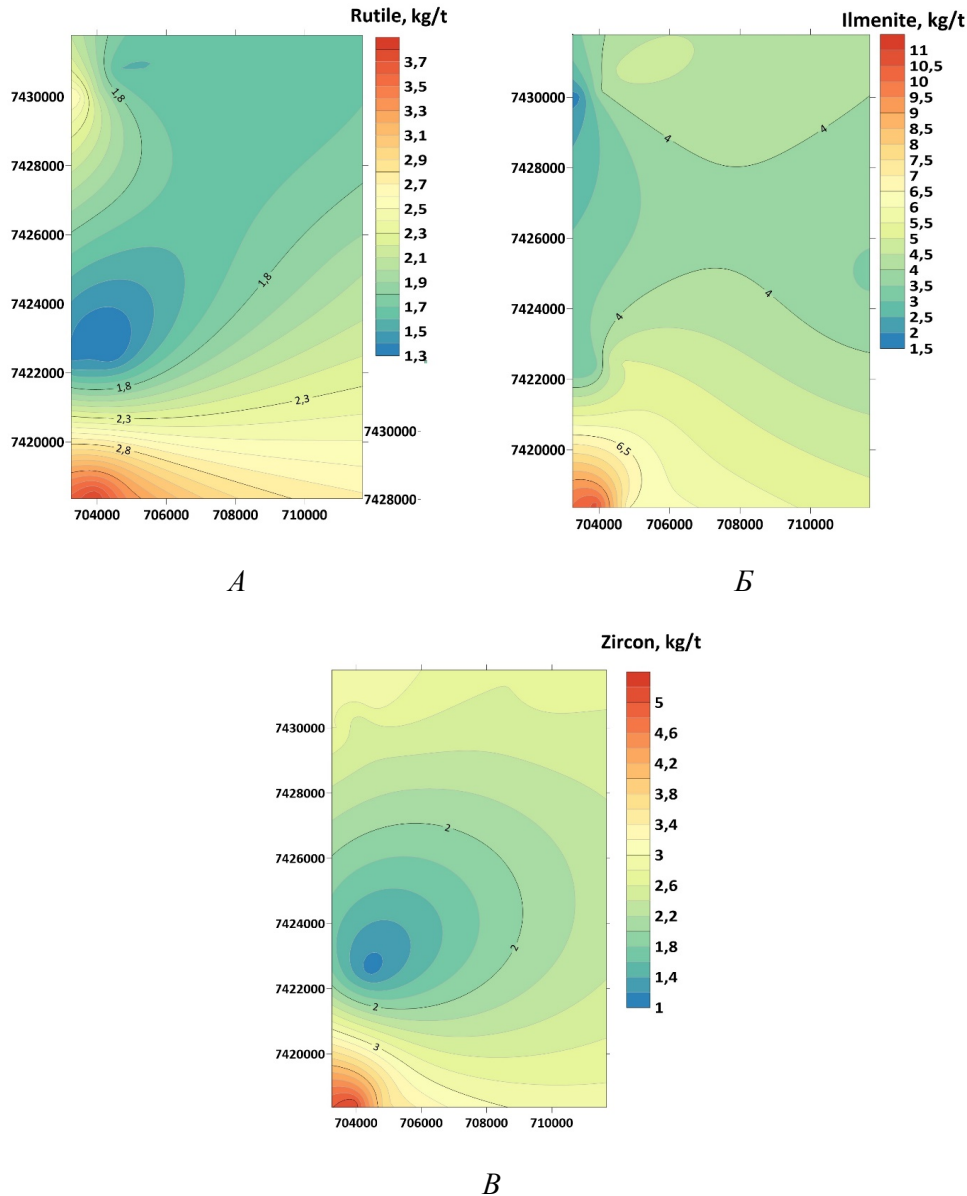


Рис. 5. Латеральна зміна середнього вмісту (кг/т) рутилу, циркону й ільменіту в пісках новопетрівської світи Строківської ділянки

Fig. 5. Lateral change in the average contents (kg/t) of rutile, zircon, and ilmenite in the sands of the Novopetrivska suite of the Strokovska area

Висновки. Узагальнення й аналіз матеріалів виробничих звітів дозволив конкретизувати уявлення щодо геологічної будови, речовинного складу і рудоносності пісків середньої підсвіти новопетрівської світи в межах Медвинської і Строківської ділянок та створити картографічні моделі, які дають наочне уявлення щодо характеру підосви, поверхні, товщини та вертикального і латерального поширення рудоносності відкладів середньої підсвіти новопетрівської світи. Проведені дослідження й аналіз отриманих результатів дозволили зробити такі висновки:

1. У геологічній будові території в межах Медвинської і Строківської ділянок беруть участь різні за віком, генезисом, петротипом і речовинним складом породи кристалічного фундаменту, які протягом мезозой-кайнозою зазнали інтенсивного хімічного вивітрювання.

2. Кора вивітрювання кристалічних порід фундаменту слугувала основним джерелом цирконій-титанових мінералів для осадових утворень мезозой-кайнозою, які складають осадовий чохол у межах досліджених ділянок.

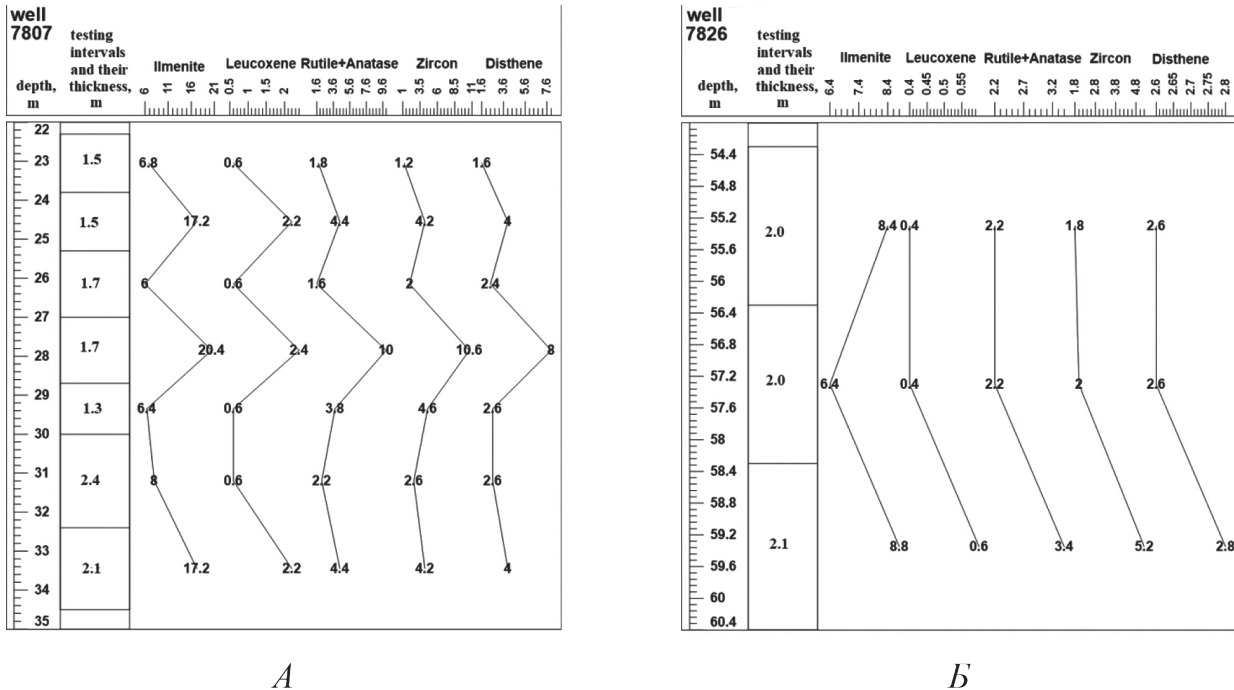


Рис. 6. Строківська ділянка. Розподіл вмісту (кг/м³) рудних мінералів новопетрівської світи у вертикальному перетині свердловин: *a* – свердловина 7807 (Голуб’ятинський розсіп); *b* – свердловина 7826 (Яхнівський розсіп)

Fig. 6. Strokivska area. Distribution of the contents (kg/m³) of ore minerals of the Novopetrivska suite in the vertical cross section of the wells: *a* – well 7807 (Golubyatyn placer); *b* – well 7826 (Yakhniv placer)

3. Відклади новопетрівської світи полтавської серії утворилися за рахунок розмиву кори вивітрянання порід кристалічного фундаменту та осадових доміоценових утворень континентального та морського генезису.

4. Незважаючи на різну геологічну будову території у межах Медвинської і Строківської ділянок, залягання відкладів новопетрівської світи на різних за віком, генезисом і складом осадових утворення, речовинний склад відкладів середньонепетрівської підсвіти у межах ділянок подібний.

5. Умови поширення, залягання, речовинний склад, структурно-текстурні особливості відкладів новопетрівської світи вказують на утворення їх за алювіальних фаціальних умов в умовах значної за розмірами алювіальної рівнини зі спокійним повноводним гідрологічним режимом, який сприяв доброму сортуванню пісків за гранулометричним складом. Для Медвинської ділянки, на посилення гідрологічного режиму (виражено у появі у розрізі новопетрівської світи більш грубозернистих фракцій пісків), вірогідно, певний вплив мали пролювіальні процеси, або ж вплив бічних притоків.

6. Рудна мінералізація розсіпів представлена ільменітом, лейкоксеном, рутилом, анатазом, цирконом, дистеном та іншими важкими мінералами, які приурочені до середньонепетрівської підсвіти, рівномірно розсіяні по усій її товщі, або ж утворюють в ній прошки збагачення. Відклади цієї підсвіти утворилися, вірогідно, в умовах широкої заплави, яка періодично затоплювалася водами, що спричинювало природне

шліхування і гравітаційну сепарацію важких мінералів. Сумісна присутність, у горизонтах збагачення пісків, рудних мінералів, які надійшли у річкову долину з різних проміжних колекторів, пояснюється фаціальними умовами та гравітаційною сепарацією мінералів у водному середовищі.

7. Поверхня підосви і покрівлі відкладів новопетрівської світи у межах Медвинської ділянки нерівномірна, з западинами і підвищеннями, натомість у межах Строківської ділянки більш менш плавна. Встановлено, що в межах Медвинської і Строківської ділянок існує пряма кореляція між рельєфом підосви і покрівлі пісків новопетрівської світи.

8. У межах Медвинської ділянки кореляційний зв'язок між товщиною пісків та рельєфом їхньої підосви і покрівлі відсутній. У межах Строківської ділянки встановлено обернений кореляційний зв'язок між цими показниками.

9. Розподіл середнього вмісту рудних мінералів за латераллю у межах Медвинської і Строківської ділянок не рівномірний. Добре виражена пряма кореляція між середнім вмістом цих мінералів притаманна лише окремим локальним ділянкам. У межах Медвинської ділянки найкраще корелюються між собою ільменіт і циркон, натомість у межах Строківської ділянки – рутил і циркон.

10. У вертикальному перетині пісків новопетрівської світи рудні мінерали здебільшого утворюють один горизонт збагачення, проте часто трапляються

випадки, коли таких горизонтів збагачення є декілька. У вертикальному перетині свердловин у більшості випадків існує прямий кореляційний зв'язок між вмістом усіх рудних мінералів, що досліджувалися. Іноді цей зв'язок може порушуватися ільменітом, лейкоксеном, рідше іншими мінералами.

11. Мінливість умов залягання, товщини продуктивних пісків та нерівномірність латерального і вертикального розподілу вмістів рудних мінералів послужили основою виокремлення в межах Медвинської та Строківської ділянок низки окремих розсипів, які мають різний ступінь дослідження і перспективності.

12. Проведені дослідження підтверджують висновок геологів-виробничників про те, що більша частина території у межах Медвинської і Строківської ділянок є перспективною, а виокремлені виробничими організаціями розсипи в їх межах здебільшого також є перспективними, потребують довивчення і можуть слугувати перспективною мінерально-сировинною базою для розширення сировинних запасів Тарасівського родовища.

13. Результати досліджень можуть слугувати інформаційною основою для прийняття рішень з геологічного довивчення розсипів цирконій титанових мінералів у межах Медвинської і Строківської ділянок.

Література

1. Ковальчук М.С. Геолого-генетичні моделі осадових формаційних одиниць фанерозою України – основа експертної оцінки родовищ корисних копалин та інформаційного супроводу видобувних робіт. *Соціум і науки про Землю: Тези доп. міжнар. наук.-практ. конф. (21-23 верес. 2017, Запоріжжя)*. Запоріжжя, 2017. С. 32–33.

2. Ковальчук М.С. Геолого-генетичні моделі рудоносних кір вивітрювання та продуктів їх розмиву і перевідкладення. *Здобутки і перспективи розвитку геологічної науки*

в Україні: Збірник тез наукової конференції, присвяченої 50-річчю Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М.П. Семененка (14-16 травня 2019 року м. Київ). У 2-х томах. Київ : НАН України, Ін-т геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка. 2019. Т. 2. С. 53–54.

3. Металічні і неметалічні корисні копалини України. Том. 1. Металічні корисні копалини. / Д. Гурський та ін.; ред.: М. Щербак, С. Гошовський. Київ-Львів : Центр Європи, 2006. 740 с.

4. Металіди В.С., Гурський Д.С. Титан України. *Мінеральні ресурси України*. 2009. № 3. С. 11–17.

5. Панов Б., Білоусова О., Гріффін В. Нові дані про ізотопний склад і геологію титан-цирконієвих розсипних родовищ Українського щита на прикладі Самотканського родовища. *Мінералогічний збірник*. 2006. № 56. Вип. 1-2. С. 38–47.

6. Рудько Г.І., Бала Г.Р. Критична мінеральна сировина та її перспективи в Україні. *Мінеральні ресурси України*. 2021. № 2. С. 3–14. URL: <https://doi.org/10.31996/mru.2021.2.3-14>.

7. Хрушев Д.П., Ковальчук М.С., Ремезова Е.А. та ін. Структурно-літологічне моделювання осадових формацій. Київ : «Інтерсервіс», 2017. 352 с.

References

1. Kovalchuk M.S. (2017). Society and Earth Sciences: Theses addendum. international science and practice conf. (September 21-23, 2017, Zaporizhia). Zaporizhzhia pp. 32-33.

2. Kovalchuk M.S. (2019), Collection of theses of the scientific conference dedicated to the 50th anniversary of the Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation named after M.P. Semenenko (May 14-16, 2019, Kyiv). In 2 volumes. Kyiv: NAS of Ukraine, Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation named after M.P. Semenenko 2019. Vol. 2. UA. pp. 53–54.

3. *Metallische und nichtmetallische nützlichere Erzkörper Ukraine*. Volume. 1. Metallic minerals. / D. Gursky and others; ed.: M. Shcherbak, S. Goshovskiy. Kyiv-Lviv: Center of Europe, 2006. UA. 740 p.

4. Metalidi V.S., Gurskiy D.S. (2009). *Mineral resources of Ukraine*. 6 (1-2). UA. pp. 38–47.

5. Rudko G.I., Bala G.R. (2021). *Mineralogical collection*. 2. UA. pp. 3–14. URL: <https://doi.org/10.31996/mru.2021.2.3-14>.

6. Hrushev D.P., Kovalchuk M.S., Remezova E.A. ta in. (2017). Kyiv: "Interservice" UA, 352 p.

ORE-BEARING OF SEDIMENTS OF THE NOVOPETRIVSKA SUITE WITHIN THE BOUNDARIES OF THE MEDVINSKA AND STROKIVSKA AREAS

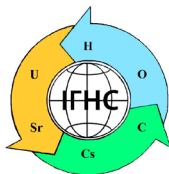
Kroshko Yu.V., Kovalchuk M.S.

Kroshko Yu.V., PhD (Geology), Institute of Geological Sciences, NAS of Ukraine, ORCID: 0000-0002-7601-7760, ykrosh.79@ukr.net

Kovalchuk M.S., D. Sc. (Geology), Professor, Institute of Geological Sciences, NAS of Ukraine, ORCID: 0000-0001-9265-9707, kms1964@ukr.net

Brief information on the geological structure of the Medvynska and Strokivska areas is given, within which, in the deposits of the Novopetrivska suite of the Poltava series of the Neogene, placers of zirconium-titanium minerals are located. Placers contain large amounts of ilmenite, zircon, leucoxene, disten, rutile, and anatase, which are evenly scattered throughout the rock or grouped in layers enriched with them. The placers were formed under continental facies conditions and are localized in the sands of the middle subsoil of the Novopetrivska suite. Based on the coordinates and description of the wells, the topography of the sole and surface of the sands containing ore minerals, as well as the lateral thickness change of the ore sands, were investigated. It was established that there is a direct correlation between the relief of the sole and the roof of the sands of the Novopetrivska suite within the boundaries of the Medvynska and Strokivska areas. There is no correlation between the thickness of the sands and the relief of their sole and roof within the limits of the Medvynska area. An inverse correlation between these indicators was established within the Strokivska area. The coordinates and results of well testing became the basis for the study of the distribution of average contents of rutile, ilmenite and zircon along the lateral. It was found that for both areas, a clearly expressed direct correlation between the average contents of these minerals exists only partially, within the limits of local, small objects. Ilmenite and zircon are best correlated within the Medvynska area, whereas rutile and zircon are correlated within the Strokivska area. The analysis of the distribution of the contents of ilmenite, zircon, leucoxene, disten and rutile with anatase in the vertical section of the wells showed that in most cases there is a direct correlation between all the investigated ore minerals. In some places, the general correlation relationship is broken by one of the minerals, less often by several. For the most part, ore minerals form one well-defined hypsometric level of enrichment, sometimes two and, rarely, three.

Key words: *Novopetrivska suite, Miocene, placers, zircon, ilmenite, Medvynska and Strokivska areas.*



DOI

УДК 622.315:550.853

Вергельська Н.В., Вергельська В.В.

Вергельська Н.В., доктор геологічних наук, Державна установа «Науковий центр гірничої геології, геоecології та розвитку інфраструктури НАН України», ORCID: 0000-0002-1440-6082, vnata09@meta.ua

Вергельська В.В., Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН», ORCID: 0000-0002-6206-710X

ТРАНСФОРМАЦІЯ ГАЗОВОЇ СКЛАДОВОЇ ПІД ЧАС ПЕРЕБІГУ ГАЗОДИНАМІЧНИХ СИТУАЦІЙ У ВУГІЛЬНИХ ШАХТАХ

Вивчення динамічних явищ значно ускладнилося, коли вугледобувна промисловість зіткнулася з масштабними проявами такого явища, як раптові викиди вугілля, що супроводжуються значним газовиділенням. Раптові динамічні явища зі збільшенням глибини відпрацювання вугільних пластів залишаються непрогнозованими, як у діючих, так і у відпрацьованих (ізолюваних) ділянках вугледобувних підприємств.

На відпрацьованих (ізолюваних) ділянках діючих шахт зафіксовано висипи вугілля та породи, викиди газу, які призводять до газодинамічних явищ і пожеж. Зважаючи на показники газової суміші, можна вважати стан масиву відносно стабільним із позитивною тенденцією до стабілізації природного газового стану, аналогічні процеси у воді відбуваються повільніше, що варто враховувати під час проведення гірничих робіт. Газ із водою може мігрувати не тільки за межі виробки, а й за межі шахти.

Усі наведені дані свідчать про сучасну газову міграцію не тільки в непошкодених вуглепородних масивах, а й у відпрацьованому, технічно ізолюваному просторі, у яке гази могли мігрувати тільки вертикально, що зумовлене розташуванням виробки в масиві. На основі ізотопних і газогеохімічних досліджень метану, важких вуглеводнів, вуглекислого газу та гелію обґрунтовано та доведено полігенетичний склад природного газу у вугленосних товщах вугільних басейнів і родовищ України. Залежно від стану вуглепородного масиву газова складова частина може змінюватися в широких межах. У разі активного максимального вилучення газу у виробках піднімається велика кількість важких і ненасичених вуглеводнів, що може спровокувати газодинамічні явища. Відновлення газової суміші у вугільній виробці тривало два місяці, після проведення стабілізаційних робіт масиву.

Ключові слова: газодинамічній ситуації, газоносність, вуглепородний масив, газова суміш, відпрацьований простір, вугільні шахти.

Вступ. Питання прогнозу та запобігання раптовим динамічним явищам у вугільних шахтах, незважаючи на десятиліття досліджень, залишаються маловивченими, особливо у відпрацьованому просторі виробок. Раптові динамічні та газодинамічні явища зі збільшенням глибини відпрацювання вугільних пластів залишаються непрогнозованими як у діючих, так і у відпрацьованих (ізолюваних) ділянках вугледобувних підприємств.

У вугільних шахтах спостерігається велика різноманітність раптових динамічних явищ: суфляри, віджимання вугілля, раптове обвалення покрівлі, пучення ґрунту, висипання, стріляння, гірські удари, раптові викиди вугілля, породи та газу. На відпрацьованих (ізолюваних) ділянках діючих шахт зафіксовано висипи вугілля та породи, викиди газу, які призводять до газодинамічних явищ і пожеж.

Питанням раптових динамічних явищ присвячено велику кількість робіт дослідників різного профілю – геологів, хіміків, фізиків, астрономів, кліматологів, які за вихідні передумови приймали зовсім різні ознаки. Мала вивченість причин раптових динамічних явищ

у вугільних шахтах дозволила створити велику кількість гіпотез про їхню природу. Причини динамічних явищ розглядалися в роботах багатьох дослідників: А.Я. Радзивілла, О.М. Сукачова, Г.Д. Лідіна, В.С. Ярцева, А.І. Кравцова, Л.М. Бикова, І.М. Печука, Г.О. Конькова, В.Г. Бондарчука, О.О. Скочинського, А.І. Чередніченко, В.В. Лукінова, Л.І. Пимоненко, Д.П. Гуні [1–3] та багатьох інших. Проте це питання ще далеке від вирішення чи створення загальної теорії, яка б дозволила прогнозування раптових газодинамічних явищ. Неоднозначність визначень раптових динамічних явищ спричинила спроби за одним чи декількома чинниками обґрунтувати все або їх більшу частину.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У роботах О.М. Сукачова, А.Я. Радзивілла, В.В. Ходота, Я.А. Біча, В.С. Забігайла й інших було відзначено, що геологічні порушення, прояви магматичної діяльності, наявність у ґрунті та покрівлі міцних порід, глибина відпрацювання, потужність вугільних пластів істотно впливають на прояв газодинамічних явищ. Умови прояву раптових викидів вугілля та газу, віджимань

мають деяку схожість. Основні чинники, які їх провакуюють, – напружений стан і газова складова частина масиву [1–3].

Тоді як дослідження газодинамічних явищ у відпрацьованому просторі практично відсутні, оскільки значні аварії на таких ділянках на вуглевидобувних підприємствах України зафіксовано переважно після 2015 р. У попередніх дослідженнях Н.В. Вергельської й І.М. Скопиченка [6; 7] було визначено причини виникнення газодинамічних явищ у відпрацьованому просторі ДП ВК «Краснолиманська». Під час проведення досліджень було встановлено структурні та газогеохімічні особливості виникнення газодинамічних явищ у відпрацьованих (ізолюваних) виробках вуглепородних масивів. Натепер аналогічні ситуації зафіксовано й на інших шахтах Донецького басейну. Дослідження газодинамічних ситуацій у відпрацьованому просторі діючих шахт є актуальними.

Мета дослідження. Метою даної роботи було визначення часу відновлення газового стану у відпрацьованій виробці вуглепородного масиву ДП ВК «Краснолиманська» до відносно стабільного, тобто безпечного за газогеохімічними показниками.

Методи дослідження. В основу досліджень увійшли роботи, проведені у 2015–2016 рр. на ДП ВК «Краснолиманська». Під час робіт вивчено перебіг газодинамічного явища (далі – ГДЯ) у відпрацьованій вугільній виробці, проведено моніторинг її газового стану на підставі аналізу понад 100 газових проб із шахтної атмосфери та води. Раптові динамічні явища вуглепородних масивів визначалися за запатентованими методиками (патент № 79554 від 25 квітня 2013 р. [4], № 99540 від 10 червня 2015 р. [5]). Лабораторні дослідження проб газу (газова хроматографія) проводились у ДП «Укрнаукагеоцентр».

Виклад основного матеріалу дослідження. Вивчення динамічних явищ значно ускладнилося, коли вугледобувна промисловість зіткнулася з масштабними проявами такого явища, як раптові викиди вугілля, що супроводжуються значними газовиділеннями. Питанню газодинамічних явищ (ГДЯ) присвячено велику кількість робіт дослідників різного профілю, які за вихідні передумови приймали різні, іноді другорядні, ознаки динамічних чи газодинамічних явищ. Наявні гіпотези ГДЯ поділяються переважно за головними чинниками, що діють у мить перебігу явища, але нерідко другорядні ознаки більш виразні, що призводить до появи нових аналогів відомих гіпотез. Зважаючи на вищесказане, всі наявні гіпотези можна поділити на чотири групи: гіпотези гірського тиску, газові гіпотези, геохімічні гіпотези та змішані.

Попередні дослідження [1–7] газодинамічних ситуацій у вугільних шахтах проводилися лише у діючих виробках, тому зміна газового стану відпрацьованої (ізолюваної) ділянки розглянута поетапно. Зважаючи на вимоги виробничого підприємства, у роботі використано авторську методику досліджень, яка базується на зміні якісних і кількісних показників

газової суміші із шахтної атмосфери та води, що дозволило встановити закономірності трансформації газових сумішей в ізолюваних виробках вуглевидобувних підприємств.

Під час газодинамічної ситуації ДП ВК «Краснолиманська» зафіксована зміна газового стану виробки від небезпечного (критично небезпечного) до можливого газового колектору у відпрацьованому просторі (табл. 1, 2). Дослідження газового стану виробки проведено в декілька етапів, які відображають його зміни під час перебігу ГДЯ. За небезпечного газодинамічного стану встановлені такі показники: метан – до 1%, ацетилен – до 0,8%, азот – більше 70% газової суміші. За отриманими результатами встановлено підвищення температури масиву до критичного та рекомендовано проведення робіт щодо стабілізації масиву. Після проведення робіт зі стабілізації масиву (один тиждень) показники змінені так: метан – до 0,86%, ацетилен – сліди (максимум до 0,00002%), азот – до 96–98%. Значну кількість азоту в газовій суміші атмосфери (табл. 1) та води із виробки (табл. 2) пов'язано з роботами зі стабілізації масиву.

Показники газової суміші після проведення робіт зі стабілізації масиву (шість тижнів) такі: метан – до 20%, етилен, ацетилен – відсутні, азот – до 70%. Такі показники газової суміші можна вважати відносно стабільними для даної виробки, оскільки вони корелюються з показниками газової суміші до початку розробки вугільного пласта, проведеної авторами у 2007 р.

Беручи до уваги показники газової суміші, можна вважати стан масиву відносно стабільним із позитивною тенденцією до стабілізації природного газового стану, аналогічні процеси у воді відбуваються повільніше, ніж у шахтній атмосфері, в інтервалі приблизно два тижні, що варто враховувати у проведенні гірничих робіт. Газ із водою може мігрувати не тільки за межі виробки у відстійник, а й за межі шахти.

Усі наведені дані свідчать про сучасну газову міграцію не тільки в неперушених вуглепородних масивах, а й у відпрацьованому, технічно ізолюваному просторі, у яке гази могли мігрувати тільки вертикально, що зумовлене розташуванням виробки в масиві. На основі ізотопних і газогеохімічних досліджень метану, важких і ненасичених вуглеводнів, вуглекислого газу та гелію обґрунтовано та доведено полігенетичний склад природного газу у вугленосних товщах вугільних басейнів України [6; 7]. Це дозволяє віднести їх до мобільних газо-гео-динамічних систем, у яких і нині відбуваються інтенсивні процеси газопереносу та міжформаційні газові зв'язки, як у вугленосних товщах, так і у вміщуючих газонасичених породах.

Отже, через два місяці після проведення робіт зі стабілізації масиву відбулося відновлення газового стану ділянки, майже ідентичне, що було визначено під час нарізання лави та на початок відпрацювання вугільного пласта.

Таблиця 1. Зміна газової складової частини у відпрацьованій вугільній виробці ДП ВК «Краснолиманська»

Table 1. Changing the gas mixture of the coal mining waste space of the SE CC “Krasnolymanska”

Sampling date Component,%	09.11.2015 Period of unpredictable sudden phenomenon	15.12.2015 Period of works on massif stabilization	18.01.2016 The period after stabilization of the massif
CH ₄	0,266–0,381	0,039–0,455	16,321–21, 322
C ₂ H ₆	0,006–0,010	0,002–0,011	0,198–0,245
C ₂ H ₄	Сліди	0,000	Сліди
C ₂ H ₂	0,005–0,007	0,000	Відсутній
C ₃ H ₈	0,002	0,002–0,017	0,043–0,058
i-C ₄ H ₁₀	0,000	0,001–0,004	0,007–0,013
n-C ₄ H ₁₀	0,001	0,002–0,017	0,006–0,012
neo-C ₅ H ₁₂	0,000	0,000	0–0,001
i-C ₅ H ₁₂	0,000	0,001–0,007	0,001–0,012
n-C ₅ H ₁₂	0,000	0–0,006	0,001–0,003
C ₆ H ₁₄	0,005–0,014	0,004–0,026	0,003–0,016
CO ₂	0,620–0,770	0,092–0,140	1,087–1,368
H ₂	0,000	0,001	сліди
H ₂ S	0,000	0,000	0,000
O ₂	19,449–21,432	6,808–20,806	6,947–8,193
N ₂	77,422–79,314	78,972–79,071	70,003–74,149

Таблиця 2. Зміна газової складової частини у відпрацьованій вугільній виробці, із води, ДП ВК «Краснолиманська»

Table 2. Change of the gas mixture of the production of the spent space, according to the gas content in the water of the SE CC “Krasnolymanska”

Sampling date Component,%	7 грудня 2015 р.	15 грудня 2015 р.	22 січня 2016 р.
CH ₄	0,012–0,053	0,402–0,497	0,010–0,019
C ₂ H ₆	0,001–0,002	0,010–0,012	0,000
C ₂ H ₄	Сліди	0,001–0,002	Відсутній
C ₂ H ₂	0,000	0,000	Відсутній
C ₃ H ₈	0,000–0,003	0,006–0,008	0,000
i-C ₄ H ₁₀	0,000–0,001	0,001–0,002	0,000
n-C ₄ H ₁₀	0,000–0,003	0,003–0,006	0,000
neo-C ₅ H ₁₂	0,000	0,000	0,000
i-C ₅ H ₁₂	0,000–0,002	0,001–0,002	0,001
n-C ₅ H ₁₂	0,000–0,001	0,001	0,000
C ₆ H ₁₄	0,000–0,009	0,004–0,012	0,004
CO ₂	0,091–0,794	1,312–3,678	0,907–1,363
H ₂	0,000–0,001	0,001	0,001
H ₂ S	0,000	0,000	0,000
O ₂	4,622–6,675	4,877–6,808	5,928–16,750
N ₂	92,456–95,274	89,075–93,198	82,327–92,684

Висновки

1. Залежно від стану вуглепородного масиву газова складова частина може змінюватися в широких межах. У разі активного максимального вилучення газу у виробки піднімається велика кількість важких і ненасичених вуглеводнів, що може спровокувати газодинамічні явища.

2. Зважаючи на показники газової суміші, стан виробки відносно стабільний, із позитивною тенденцією до стабілізації природного газового стану, аналогічні процеси в газовій суміші води відбуваються більш повільно.

3. Відновлення газової суміші у вугільній виробці тривало два місяці, після проведення стабілізаційних робіт масиву.

Перспективи подальших досліджень

Подальші дослідження дозволять визначити можливість використання відпрацьованого простору діючих шахт як газового колектору за постійного моніторингу газової суміші.

Визначити вплив шахтних вод на формування газового складу шахтної атмосфери та перерозподілу газу під час газодинамічних явищ у відпрацьованому просторі діючих шахт.

Література

1. Миграция и накопление глубинного газа как один из факторов возникновения аварийных ситуаций / Б.В. Бокий и др. *Тектоника и стратиграфия*. 2013. Вып. 40. С. 49–58.
2. Pimonenko L., Vergelska N. Prediction of dynamic phenomena in coal mines. *Proceedings of the X International Geomechanics Conference 19–23 September 2022, Varna, Bulgaria*. P. 230–234.
3. Опыт определения содержания ацетилена в угольных пластах шахт Донецко-Макеевского района / А.М. Сукачев и др. Киев : ИГС, 1992. 36 с.
4. Спосіб визначення залишкової газової складової вуглепородного масиву Донбасу / А.Я. Радзівілл та ін. Патент № 79554 від 25.04.2013 р. Державна служба інтелектуальної власності України, 2013.
5. Євдошук М.І., Вергельська Н. В. Спосіб визначення зон скупчення газу у відпрацьованому просторі діючих шахт. Патент № 99540 від 10.06.2015 р. Державна служба інтелектуальної власності України, 2015
6. Вергельська Н.В. Газоносність відпрацьованого простору діючих шахт Донбасу. *Тектоніка і стратиграфія*. 2012. Вип. 39. С. 30–33.
7. Vergelska N., Skopychenko I. Formation and redistribution of gas in coal basins. *Polish journal of science*. 2019. № 22. С. 7 – 12.

References

1. Bokiyy B.V., Gunya D.P., Pimonenko L.I., Balalayev A.K., Vergelska N.V. (2013), Migratsiya i nakopleniye glubinnogo gaza kak odin iz faktorov vozniknoveniya avariynykh situatsiy, *Tektonika i stratigrafiya*, Vyp. 40: 49–58.
2. Pimonenko L., Vergelska N. (2022), Prediction of dynamic phenomena in coal mines. *Proceedings of the X International Geomechanics Conference 19–23 September 2022, Varna, Bulgaria*, 230–234.
3. Sukachev A.M., Radzivil A.Ya., Kas'yanov V.V., Suslo A.I. (1992), Opyt opredeleniya soderzhaniya atsetilena v ugol'nykh plastakh shakht Donetsk-Makeyevskogo rayona, Kiyev : IGS, 36 p.
4. Sposib vyznachennya zalyshkovoyi hazovoyi skladovoyi vuhleporodnoho masyvu Donbasu, avtory A.Ya. Radzivil, O.M. Sukachov, N.V. Vergelska, M.Yu. Sobolyev. Patent № 79554 vid 25.04.2013. Derzhavna sluzhba intelektual'noyi vlasnosti Ukrainy, 2013.
5. Sposib vyznachennya zon skupchennya hazu u vidprats'ovanomu prostori diyuchykh shakht, avtory M.I. Yevdoshchuk, N.V. Vergelska. Patent № 99540 vid 10.06.2015. Derzhavna sluzhba intelektual'noyi vlasnosti Ukrainy, 2015.
6. Vergelska N.V. (2012), Gazonosnist' vidprats'ovanoho prostoru diyuchykh shakht Donbasu. *Tektonika i stratyhrafiya*, Vyp. 39: 30–33.
7. Vergelska N., Skopychenko I. (2019) Formation and redistribution of gas in coal basins. *Polish journal of science*, 22: 7–12.

TRANSFORMATION OF THE GAS MIXTURE DURING GAS-DYNAMIC SITUATIONS IN COAL MINES

Vergelska N.V., Vergelska V.V.

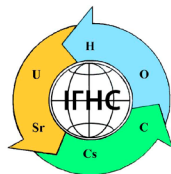
Vergelska N.V., D. Sc. (Geology), State Institution “Scientific Center of Mining Geology, Geoecology and Infrastructure Development of National Academy of Sciences of Ukraine”, ORCID: 0000-0002-1440-6082, vnata09@meta.ua

Vergelska V.V., State Institution “The Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine”, ORCID: 0000-0002-6206-710X, vvika10@meta.ua

The study of dynamic phenomena became much more complicated when the coal mining industry encountered large-scale manifestations of such a phenomenon as sudden releases of coal, accompanied by significant gas emissions. Sudden dynamic phenomena with an increase in the depth of working out of coal seams remain unforeseeable, as well as in working out (isolated) areas of operating mines. Coal and rock spills, gas emissions, which lead to gas-dynamic phenomena and fires, have been recorded in the exhausted (isolated) areas of active mines. Taking into account the parameters of the gas mixture, the state of the massif can be considered relatively stable with a positive tendency to stabilize the natural gas state, similar processes in water occur more slowly, which should be taken into account when conducting mining operations. Gas with water can migrate not only outside the production, but also outside the mine.

All the given data testify to modern gas migration not only in undisturbed coal massifs, but also in the exhausted, technically isolated space, into which gases could migrate only vertically, which is due to the location of the production in the massif. On the basis of isotopic and gas-geochemical studies of methane, heavy hydrocarbons, carbon dioxide and helium, the polygenetic composition of natural gas in coal-bearing strata of coal basins and deposits of Ukraine has been substantiated and proven. Depending on the state of the coal massif, the gas component can vary widely. With active maximum gas extraction, a large amount of heavy and unsaturated hydrocarbons rises in the workings, which can provoke gas-dynamic phenomena. The restoration of the gas mixture in the coal mine lasted two months, after the massif stabilization works.

Key words: gas dynamic situation, gas carrying capacity, coal massif, gas mixture, spent space, coal mines.



DOI

УДК 621.039.7: 551.583

Ольховик Ю.О.

Ольховик Ю.О., доктор технічних наук, Національний авіаційний університет, ORCID: 0000-0001-5653-2370, yolkhovyk@ukr.net

КЛІМАТИЧНІ ЗМІНИ І ЗАХОРОНЕННЯ НА МІСЦІ ОБ'ЄКТІВ НА МАЙДАНЧИКУ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ СТАНЦІЇ

Нині в Зоні відчуження на майданчику Чорнобильської атомної електростанції проводяться роботи з остаточного закриття та консервації енергоблоків 1–3, особливістю яких є наявність уран-графітового реактора великої потужності каналного (РВПК). Під час експлуатації реакторний графіт стає радіоактивним унаслідок накопичення у графіті довгоживучого радіонукліда ^{14}C . Додатковий вклад вносить наведена радіоактивність технологічних домішок (^{36}Cl , ^{60}Co) і просипи продуктів поділу та фрагментів ядерного палива. Основна проблема виведення з експлуатації ядерних установок з уран-графітовим реактором великої потужності каналним пов'язана з необхідністю вибору оптимальних методів поводження з великими обсягами відпрацьованого графіту. Розглянуто можливість застосування технології приповерхневого захоронення знятих з експлуатації уран-графітових реакторів великої потужності каналних, відомої як «зелений курган», до енергоблоків 1–3 Чорнобильської атомної електростанції. Ідентифіковано природні чинники, можлива дія яких протягом часу, необхідного для розпаду радіонуклідів ^{14}C і ^{36}Cl до прийнятого рівня, може призвести до руйнування приповерхневих сховищ для захоронення на майданчику Чорнобильської атомної електростанції. Такими чинниками визначено реабілітацію річкової долини річки Прип'ять і вразливість сховищ приповерхневого захоронення до впливу циклічних кліматичних змін. Кліматичні зміни мають бути враховані під час ухвалення рішень щодо захоронення на місці з огляду на те, що процеси розпаду довгоживучих радіонуклідів, деградації матриць інкорпорованих радіоактивних відходів, строки функціонування захисних бар'єрів у часовому відношенні відповідні до динаміки змін клімату. Відзначено необхідність урахування впливу глобальних змін клімату на інтенсивність зміни геоморфологічних характеристик місцезнаходжень «зелених курганів». Особливо небезпечним і потужним природним чинником, що неминуче призведе до руйнації «зелених курганів», є вплив вірогідного зледеніння. Підкреслено актуальність вирішення наукового завдання комплексного поєднання знань щодо формування фізико-географічних особливостей Полісся в останні 200 тисяч років із моделюванням кліматичних змін у майбутні 100 тисяч років, що дозволить обґрунтовано прийняти або відхилити саму ідею приповерхневого захоронення довгоіснуючих радіоактивних відходів на площадці Чорнобильської атомної електростанції.

Ключові слова: Чорнобильська АЕС, опромінений реакторний графіт, приповерхнєве захоронення, зелений курган, кліматичні зміни, зледеніння.

Вступ. Нині в Зоні відчуження на майданчику Чорнобильської атомної електростанції (далі – АЕС) проводяться роботи з остаточного закриття та консервації енергоблоків 1–3, особливістю яких є наявність реактора великої потужності каналного (далі – РВПК), у якому основу активної зони РБМК-1000 становить графітовий циліндр заввишки 7 м і діаметром 11,8 м, складений із блоків меншого розміру, який виконує роль сповільнювача. Під час експлуатації реакторний графіт стає радіоактивним унаслідок накопичення у графіті довгоживучого радіонукліда ^{14}C , питома активність якого зростає з дозою. Для проєктних флюенсів реакторів РВПК-1000 ($\sim 2 \times 10^{22}$ н/см²) питома активність ^{14}C може досягати 3,7Еб Бк/г. Окрім того, додатковий вклад вносить наведена радіоактивність технологічних домішок (^{36}Cl , ^{60}Co) і просипи продуктів поділу та фрагментів ядерного палива, що утворюються внаслідок різних інцидентів або аварій. Потужність дози γ -випромінювання від реакторного графіту таких забруднених блоків на відстані 0,5 м може досягати 600 мкЗв /с.

Огляд поточного стану. Основна проблема виведення з експлуатації ядерних установок із РВПК пов'язана з необхідністю вибору оптимальних методів поводження з великими обсягами відпрацьованого графіту, який посідає особливе місце під час поводження з накопиченими радіоактивними відходами (далі – РАВ) з огляду на безпеку деструкції генної інформації в разі входження радіовуглецю у ДНК людини. Загальна кількість опроміненого реакторного графіту у складі енергоблоків 1–3 Чорнобильської АЕС оцінюється в 5 700 тон.

Дотепер як в Україні, так і у світі не визначено стратегію поводження з опроміненим реакторним графітом (далі – ОРГ). Міжнародне агентство з атомної енергії (далі – МАГАТЕ) зазначає, що більшість країн визнають за доцільне захоронення ОРГ в геологічному сховищі на противагу дезактивації [1].

Останнім часом, з огляду на реалізований у США проєкт зняття з експлуатації важководних реакторів на майданчику Саванна-Рівер шляхом їх консервації на період не менше 1 000 років [2] і зняття з експлуатації

в РФ промислового уран-графітового реактора ЕИ-2 на майданчику «Северного химического комбината» [3], в Україні формується думка щодо можливості застосування стратегії захоронення на місці енергоблоків ЧАЕС, включно з об'єктом «Укриття» [4].

Специфіку застосування рішення зняття з експлуатації промислового уран-графітового реактора ЕИ-2 і в майбутньому реакторів типу АД зумовлено тим, що ці реактори експлуатувались під землею. Підреакторний простір і металоконструкції заплановано заповнити бетоном, а реакторний простір із графітовою кладкою – бентонітовими глинами.

З огляду на розміри енергоблоків із реакторами РВПК заввишки 75 метрів, розташованих на поверхні, концепція зняття з експлуатації шляхом захоронення на місці розвинулася до рішення з назвою «зелений курган», яке розроблено та запатентовано АТ «НКІМТ» [5].

Зазначене рішення передбачає, що будівля реактора стає сховищем для твердих радіоактивних відходів, що утворилися за час роботи енергоблока. Відпрацьоване ядерне паливо вивозиться за межі АЕС. Автори патенту декларують, що багатометровий шар інертних матеріалів гарантує надійний захист від іонізуючого випромінювання та несанкціонованого доступу до ізолюваних конструкцій, а самі конструкції та радіоактивні речовини, розміщені всередині кургану, недоступні для ґрунтових вод.

Метою статті є потреба звернути увагу на наявну невизначеність вірогідного впливу природних чинників на безпеку захоронення довгоіснуючих радіоактивних відходів у приповерхневих сховищах на площадці Чорнобильської АЕС. Реалізація концепції «зелений курган» до енергоблоків ЧАЕС, включно з об'єктом «Укриття», та поставарійних поверхневих сховищ високоактивних радіоактивних відходів «ІІ-я Черга ЧАЕС» і «Підлісний» [3] призведе до формування насипних штучних форм рельєфу у вигляді пагорбів заввишки до 80 метрів, діаметром >280 метрів і об'ємом понад 1 600 тис. м³ кожен (рис. 1).

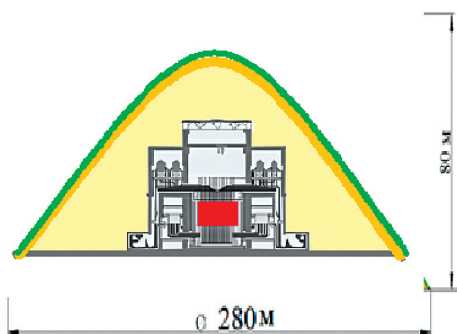


Рис. 1. Схема «зеленого кургану» над енергоблоком ЧАЕС

Fig. 1. Scheme of the “green mound” above the ChNPP power unit

Згідно з положеннями МАГАТЕ захоронення на місці має передбачати створення інженерних бар'єрів, які забезпечують ненадходження радіонуклідів

у навколишнє середовище протягом часу, поки радіоактивність не знизиться до рівня, що дозволяє звільнити об'єкт від регуляторного контролю [6]. Той факт, що радіоактивний матеріал залишиться на місці, означає, що об'єкт із часом буде визначений як приповерхнє сховище з відповідним рівнем гарантування безпеки. Але створення сховища для захоронення РАВ має на меті не тільки мінімізацію впливу на персонал і населення як на сучасному етапі, так і в майбутньому, а акож зниження до мінімуму необхідності технічного обслуговування сховища на етапі після його закриття.

Оскільки ОРГ утворився під час експлуатації установок ядерного паливного циклу, на цей матеріал поширюються встановлені в Україні рівні звільнення [7], які становлять 1 Бк/т як для радіовуглецю, так і для ³⁶Cl. Нескладно порахувати, що час досягнення рівня звільнення за ¹⁴C і ³⁶Cl, інкорпорованих у ОРГ, становить 100 000 і 2 мільйони років відповідно. Ці розрахунки є оціночними, бо нині немає даних щодо реальної питомої активності довгоживучих ¹⁴C і ³⁶Cl в ОРГ енергоблоків 1–3 Чорнобильської АЕС, як і притаманні йому рівні забруднення продуктами поділу й альфа-випромінювачами внаслідок розгерметизації твєлів. Отже, оператор сховищ має довести, що зазначені об'єкти в разі захоронення на місці за технологією «зелений курган» мають зберігати ізолюючі властивості протягом десятків тисяч років, що дає підстави для застосування до оцінки безпеки таких приповерхневих сховищ вірогідних сценаріїв вельми тривалої еволюції системи ізоляційних бар'єрів, які застосовуються для геологічних сховищ [8].

Для повноти охоплення всіх можливих сценаріїв використовується поняття «ОПП» (особливості, події, процеси), яке покликане формалізувати численні фактори, які потенційно можуть впливати на безпеку системи захоронення [9; 10].

Новим викликом, у контексті аналізу довготривалих загроз для безпечного функціонування захоронень на місці, є очевидні зміни кліматичних умов. На думку експертної спільноти, зміни клімату неминуче призведуть до зміни інтенсивності та частоти опадів, збільшення максимальної швидкості вітру. Підвищення температури, отже, і збільшення кількості опадів може призвести до інтенсифікації геоморфологічних процесів. Натепер, наприклад, у Великобританії вже розглядають зміну клімату як чинник, який несе ризики для безпечного поводження з відпрацьованим ядерним паливом, на що прямо вказується в Заяві про національну політику в атомній енергетиці [11].

Кліматичні зміни мають бути враховані під час ухвалення рішень щодо захоронення на місці, хоча б з огляду на те, що процеси радіаційного розпаду, деградації матриць інкорпорованих РАВ, строки функціонування захисних бар'єрів у часовому відношенні відповідні до динаміки змін клімату, про які ми маємо уяву на прикладі досліджень змін клімату в минулому. Комісією з поводження з радіоактивними відходами АЯЕ ОБСЄ розроблено універсальний інтернаціональний каталог ОПП, який включає 268 найменувань [12].

У згаданій роботі розглядається підгрупа кліматичних ОПП, які можуть мати деякий вплив на міграційні

процеси як у геосфері, так і всередині системи інженерних бар'єрів безпеки (табл. 2).

Таблиця 2. Кліматичні ОПП, що визначають еволюцію системи захоронення [12]

1.3. Кліматичні чинники:

1.3.1. Глобальна зміна клімату.

1.3.2. Регіональна та локальна зміна клімату.

1.3.3. Зміна рівня моря.

1.3.4. Ефекти в перигляціалній області.

1.3.5. Ефекти від льодовикового клімату та льодовикових покривів.

1.3.6. Ефекти від теплого клімату (тропічний і пустельний).

1.3.7. Гідрологічна / гідрогеологічна реакція на зміну клімату.

1.3.8. Екологічна реакція на зміну клімату.

1.3.9. Реакція людей на зміну клімату.

1.3.10. Геоморфологічна реакція на зміну клімату.

Зіставлення вихідного списку з доступною інформацією про палеокліматичні умови Поліського регіону дає можливість встановити коло кліматичних ОПП, істотних саме для території майданчика Чорнобильської АЕС. Кліматичні умови є постійно діючими чинниками зовнішнього середовища. Різноманітність можливих кліматичних змін і безліч елементів системи захоронення, на які вони потенційно можуть впливати, висувають кліматичні чинники в розряд найбільш важливих сценаріїв довгострокової еволюції приповерхневих сховищ типу «зелений курган», час функціонування яких можна порівняти з масштабами глобальних змін кліматичних умов. У результаті аналізу виявлено перелік кліматичних ОПП, реалізація яких критично загрожує цілісності інженерних бар'єрів і призведе до руйнації приповерхневих захоронень за концепцією «зелений курган».

Відомо, що клімат Землі залежить від багатьох чинників, унаслідок чого важко встановити однозначно причини кліматичних змін у минулому. Гіпотези щодо вищезазначених причин нині поділяють на дві групи. До першої групи відносять гіпотези, які пояснюють зміну клімату впливом космічних процесів, тоді як друга група основною причиною кліматичних змін визначає планетарні процеси.

Сучасні міжнародні проекти з оцінки довгострокової безпеки захоронення високоактивних відходів і відпрацьованого ядерного палива базуються на прогнозі кліматичних змін, що заснований на теорії М. Міланковича [13], яка пов'язує довгоперіодні коливання клімату та зміну льодовикових і теплих періодів зі змінами сонячної інсоляції. На інтенсивність останньої впливають зміна нахилу земної осі щодо площини її орбіти, прецесія земної осі й ексцентриситет земної орбіти. Ці параметри змінюються з періодами приблизно в 40, 20 і 100 тисяч років відповідно. Водночас сучасні дослідження вказують на суттєвий вплив на глобальний клімат антропогенної діяльності. Основними шляхами такого впливу є зростання вмісту в атмосфері вуглекислого газу та зміни концентрації атмосферного аерозолію.

У сучасних кількісних моделях прогнозу кліматичних змін розрахунок інсоляції, заснований на астрономічній теорії клімату М. Міланковича, виконується для широти конкретної території та підсумовується з різними проєкціями антропогенної емісії CO_2 , її довгостроковими наслідками [14]. У результаті отримуються різні проєкції клімату майбутнього. Приклад формування різних проєкцій для району розташування майданчика Олкілуото у Фінляндії наведено на рис. 2.

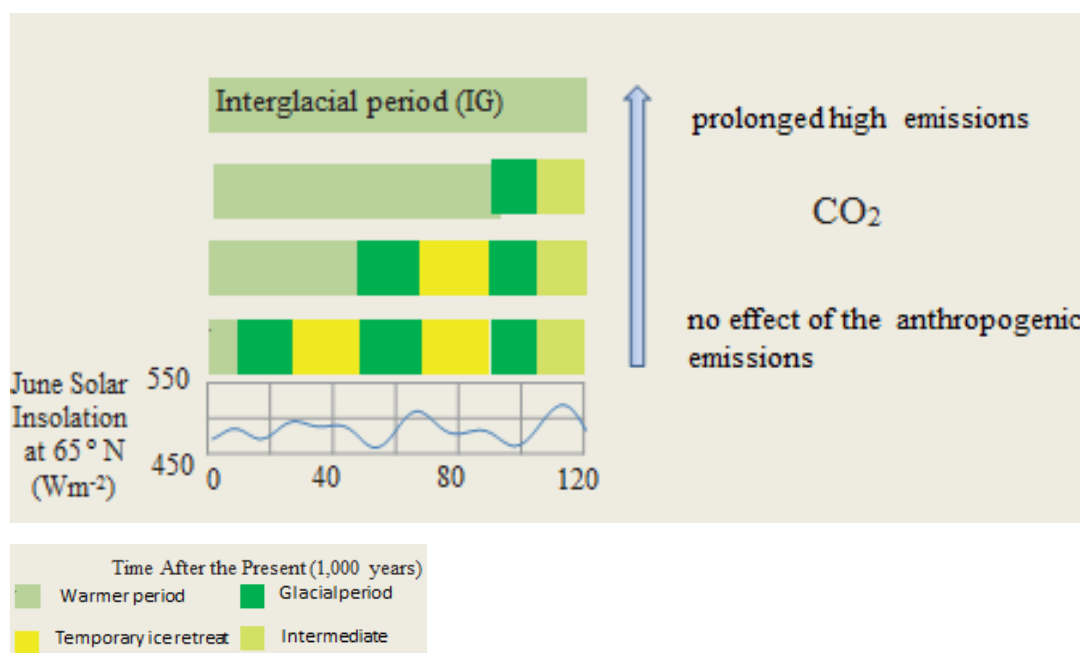


Рис. 2. Схема впливу сонячної інсоляції та вмісту CO_2 на наступне зледеніння [14]

Fig. 2. Scheme of influence of solar insolation and CO_2 emission on subsequent glaciation [14]

Згідно з моделюванням, стійкі високі викиди парникових газів можуть затримати наступне зародження льодовиків до 120 000 років після сьогодення. Що стосується моделювання з низьким рівнем викидів парникових газів, наступ наступного заledenіння визначається сонячною інсоляцією, і це може відбутися приблизно за 10 000–20 000, 50 000–60 000 або 90 000–100 000 років після сьогодення. Варто звернути увагу, що широта Олкілуото – 65° п. ш., а широта майданчика Чорнобильської АЕС становить 51° п. ш., відповідно в цих районах різняться рівні інсоляції і, як наслідок, розподіл у часі періодів теплої та холодної клімату.

Час дії та масштаб наслідків майбутніх довгострокових (на сто тисяч і більше років) змін клімату в будь-якому регіоні моделюються на основі глобальних кліматичних проєкцій. Для району розміщення Чорнобильської АЕС кількісних локальних проєкцій немає. Оскільки цей район Полісся вважається найбільш перспективним для розміщення геологічного сховища довгоіснуючих радіоактивних відходів, створення обґрунтованих моделей кліматичних змін має розглядатися як складова частина оцінки довгострокової безпеки захоронення.

Нині можна виділити лише деякі кліматичні чинники, які, на думку автора, є найбільш критичними з погляду можливості руйнації вищезазначених курганів, і спрогнозувати їх можливий вплив.

Очевидно, що зміна клімату – як регіональна, так і локальна – вплине на режим підземних вод, може привести до виходу підземних вод на поверхню із втраченою несучою здатністю фундаментів тощо.

Гідрологічною та гідрогеологічною реакцією на зміну клімату стануть такі потенційні ефекти, як утворення/зникнення озер і річок, формування меандр, заболочування або висихання низинних ділянок. Для першої надзапальної тераси річки Прип'яті характерні процеси заболочування, дефляції, ерозії тимчасових водних потоків, гравітаційні процеси, зокрема розвиток зсувних процесів. Відповідного впливу зазнають і гіпотетичні приповерхневі сховища РАВ, якими стануть енергоблоки 1–3 й інші об'єкти ЧАЕС у разі захоронення на місці за технологією «зелений курган». Процесами, що активізують перетворення рельєфу на площадці, можуть стати руслові деформації з розмивом правого берега; процеси гравітаційної групи: зміщення відкладень під впливом сили тяжіння, особливо в разі створення високих глиняних курганів над будівлями енергоблоків.

Надзвичайно потужним природним чинником, що неминуче призведе до руйнації «зелених курганів», є вплив вірогідного зledenіння. Ця територія неодноразово зазнавала впливу льодовиків. Зокрема, рельєф на території Українського Полісся сформований під впливом діяльності льодовиків і талих вод, нагромадження величезних мас льодовикових і водно-льодовикових відкладень у процесі насуву льодових мас дніпровського зledenіння. Штучні форми рельєфу у вигляді «зелених курганів» або сезнуть в разі насуву льодовика, або будуть розмиті талими водами. Локальним

механізмом такого розмиву може бути формування льодовиково-підпрудних озер унаслідок льодовикового підпружування каналів річкового та талого стоку. У разі досягненні критичного рівня накопичена в такому озері вода в минулому неодноразово знищувала частково або цілком льодовикові греблі та катастрофічно проривалася у вигляді надпотужних за сучасними земними мірками потопів. Величезну енергію та вплив таких подій на геоморфологію Полісся можна продемонструвати наслідками прориву Поліського озера (приблизно 13–12 тис. років тому) до Дніпра – приєднання до нього річки Прип'яті та відновлення стоку до Чорного моря [15]. Безумовно, зазначене явище спроможне цілковито знищити шар техногенного ґрунту на площадці ЧАЕС разом із розташованими на ній приповерхневими сховищами, що призведе до надходження в біосферу Дніпра довгоживучих радіонуклідів.

Висновок. Отже, постає наукове завдання комплексного поєднання знань щодо формування фізико-географічних особливостей Полісся в останні 200 тисяч років із моделюванням кліматичних змін у майбутні 100 тисяч років, що дозволить обґрунтовано прийняти або відхилити саму ідею приповерхневого захоронення довгоіснуючих радіоактивних відходів на площадці Чорнобильської АЕС. Наявність і доступність вищезазначених даних будуть сприяти зміцненню довіри суспільства щодо можливості забезпечити захист нинішнього та майбутніх поколінь, що є фундаментальною етичною вимогою. Цей захист має найвищий пріоритет, тому що в разі неможливості забезпечити належний рівень безпеки всі інші аспекти (фінансові, політичні) стають у край незначними.

Література

1. International Atomic Energy Agency (2016). IAEA-TEC-DOC 1790. Processing of Irradiated Graphite to Meet Acceptance Criteria for Waste Disposal. Vienna : IAEA. 148 p.
2. Belencan H. Experience with In-Situ Decommissioning as a Remediation End Point. International Atomic Energy Agency International Experts' Meeting on Decommissioning and Remediation After a Nuclear Accident 28 January – 1 February, Vienna, Austria. URL: <http://www-pub.iaea.org/iaea-meetings/IEM4/29Jan/Belencan.pdf>.
3. Бесполостное заполнение пустот в реакторном пространстве при выводе из эксплуатации ПУТР / А. Измestьев и др. *Безопасность ядерных технологий и окружающей среды*. 2012. № 2. URL: <http://www.atomic-energy.ru/technology/47198>.
4. Захоронення на місці як варіант зняття з експлуатації об'єктів Чорнобильської АЕС / Д. Стельмах та ін. *Ядерна та радіаційна безпека*. 2016. № 1 (69). С. 57–63. DOI: 10.32918/nrs.2016.1(69).09.
5. Тутунина Е. Способ захоронения твердых радиоактивных отходов. Патент № RU 2488904. URL: https://i.moscow/patents/RU2488904C1_20130727.
6. Policies and Strategies for the Decommissioning of Nuclear and Radiological Facilities / International Atomic Energy Agency. IAEA Nuclear Energy Series № NW-G-2.1. 2011. URL: http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1525_web.pdf.
7. Рівні звільнення радіоактивних матеріалів від регулюючого контролю : гігієнічні нормативи, затвердж. постановою Головного санітарного лікаря України від 30.06.2010 р. № 22. Київ, 2010.
8. International Features, Events and Processes (IFEP) List for the Deep Geological Disposal of Radioactive Waste : Version 3.0. *Radioactive Waste Management*. NEA/RWM/R (2019). 1 July 2019.

9. Глоссарий МАГАТЭ по вопросам безопасности. Терминология, используемая в области ядерной безопасности и радиационной защиты. Вена : МАГАТЭ, 2007.

10. Вимоги до структури та змісту звіту з аналізу безпеки поверхневих та приповерхневих сховищ для захоронення радіоактивних відходів, затвердж. наказом Державної інспекції ядерного регулювання України від 02.12.2019 р. № 520, зареєстр. в Міністерстві юстиції України 21.01.2020 р. за № 64/34347. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z006420?find=1&text=%D0%BA%D0%BB%D1%96%D0%BC%D0%B0%D1%82#w1_1.

11. Department of Energy and Climate Change. National Policy Statement for Nuclear Power Generation (EN-6). Volume I of II. Presented to Parliament by the Secretary of State for Energy and Climate Change pursuant to section 5 (9) of the Planning Act 2008. July 2011. URL: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/47859/2009-nps-fornuclear-volumeI.pdf.

12. International Features, Events and Processes (IFEP) List for the Deep Geological Disposal of Radioactive Waste : Version 3.0. *Radioactive Waste Management*. NEA/RWM/R (2019) 1 July 2019. URL: <https://www.oecd-nea.org>.

13. Миланкович М. Математическая климатология и астрономическая теория колебаний климата. ГОНТИ-НКТП. Москва ; Ленинград, 1939. 207 с.

14. Climate Scenarios for Olkiluoto on a Time-Scale of 120,000 Years POSIVA 2011-04 Posiva OY Olkiluoto / N. Pimenoff et al. 2011. 109 p.

15. Пазинич В. Коротка історія Дніпра. 2010. URL: <http://www.arheolog-ck.ru/?p=3033>; <http://www.arheolog-ck.ru/?p=3054>.

References

1. International Atomic Energy Agency (2016). IAEA-TEC-DOC 1790. Processing of Irradiated Graphite to Meet Acceptance Criteria for Waste Disposal. Vienna : IAEA, 148 p.

2. Belencan H. Experience with In-Situ Decommissioning as a Remediation End Point. International Atomic Energy Agency International Experts' Meeting on Decommissioning and Remediation After a Nuclear Accident 28 January – 1 February, Vienna, Austria. URL: <http://www-pub.iaea.org/iaea-meetings/IEM4/29Jan/Belencan.pdf>.

3. Izmetiev, A., Koliarevsky S., Selev I., Yushitsin K. (2012). *Nuclear Technology and Environmental safety*, 2. URL: <http://www.atomicenergy.ru/technology/47198>.

4. Stelmakh, D., Kuchinsky, V., Platonenko, A. (2016). *Nuclear and Radiation Safety*. 1 (69), 57–63. DOI: 10.32918/nrs.2016.1(69).09.

5. Tutunina Ye.V. Sposob zakhroneniya tverdykh radioaktivnykh otkhodov. Patent № RU 2488904. URL: https://i.moscow/patents/RU2488904C1_20130727.

6. International Atomic Energy Agency (2011), "Policies and Strategies for the Decommissioning of Nuclear and Radiological Facilities", IAEA Nuclear Energy Series № NW-G-2.1. URL: http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1525_web.pdf.

7. Rivni zvil'nennya radioaktyvnykh materialiv vid rehulyuyuchoho kontrolyu: hihiyenični normatyvy (2010). Zatverdzeni postanovoyu Holovnoho sanitarnoho likarya Ukrainy vid 30.06.2010 № 22. Kyiv, 2010.

8. International Features, Events and Processes (IFEP) List for the Deep Geological Disposal of Radioactive Waste: Version 3.0. *Radioactive Waste Management*. NEA/RWM/R (2019). 1 July 2019.

9. Glossariy MAGATE po voprosam bezopasnosti Terminologiya, ispol'zuyemaya v oblasti yadernoy bezopasnosti i radiatsionnoy zashchity (2007). Vena : MAGATE.

10. Вимоги до структури та змісту звіту з аналізу безпеки поверхневих та приповерхневих сховищ для захоронення радіоактивних відходів. Затвердж. наказом Державної інспекції ядерного регулювання України від 02.12.2019 р. № 520, зареєстр. в Міністерстві юстиції України 21.01.2020 р. за № 64/34347. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z006420?find=1&text=%D0%BA%D0%BB%D1%96%D0%BC%D0%B0%D1%82#w1_1.

11. Department of Energy and Climate Change. National Policy Statement for Nuclear Power Generation (EN-6). Volume I of II. Presented to Parliament by the Secretary of State for Energy and Climate Change pursuant to section 5(9) of the Planning Act 2008. July 2011. URL: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/47859/2009-nps-fornuclear-volumeI.pdf.

12. International Features, Events and Processes (IFEP) List for the Deep Geological Disposal of Radioactive Waste : Version 3.0. *Radioactive Waste Management*. NEA/RWM/R (2019) 1 July 2019 (www.oecd-nea.org).

13. Milankovich M. (1939). *Matematicheskaya klimatologiya i astronomicheskaya teoriya kolebaniy klimata*. GONTI-NKTP, M. – L., USSR. 207 p.

14. Pimenoff N., Venäläinen A., Järvinen H. Climate Scenarios for Olkiluoto on a Time-Scale of 120 000 Years (2011). POSIVA 2011-04 Posiva OY Olkiluoto. 109 p.

15. Pazynych V.H. Kоротка історія Дніпра. URL: <http://www.arheolog-ck.ru/?p=3033>; <http://www.arheolog-ck.ru/?p=3054>, 2010.

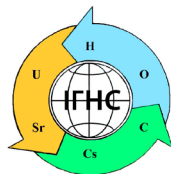
CLIMATE CHANGES AND SITE DISPOSAL OF OBJECTS ON THE CHRONOBYL STATION SITE

Olkhovyk Yu.O.

Olkhovyk Yu.O., D. Sc. (Engineering), National Aviation University, ORCID: 0000-0001-5653-2370, yolkhovyk@ukr.net

Currently, in the Exclusion Zone at the site of the Chernobyl NPP, work is being carried out on the final closure and conservation of power units 1–3, the feature of which is the presence of a high-capacity channel uranium-graphite reactor (RVPK). During operation, the reactor graphite becomes radioactive due to the accumulation of the long-lived radionuclide ^{14}C in the graphite. An additional contribution is made by the indicated radioactivity of technological impurities (^{36}Cl , ^{60}Co) and spills of fission products and fragments of nuclear fuel. The main problem of the decommissioning of nuclear installations from the RVPK is related to the need to choose optimal methods of handling large volumes of spent graphite. The possibility of applying the technology of near-surface disposal of decommissioned uranium-graphite reactors of the RVPK, known as the "green mound", to power units 1–3 of the Chernobyl NPP was considered. Natural factors have been identified, the possible action of which during the time required for the decay of radionuclides ^{14}C and ^{36}Cl to an acceptable level, may lead to the destruction of near-surface storage facilities for disposal at the Chernobyl NPP site. These factors determine the rehabilitation of the river valley of the Pripyat River and the vulnerability of surface disposal repositories to the effects of cyclical climate changes. Climatic changes should be taken into account when making decisions on on-site disposal, given that the processes of decay of long-lived radionuclides, degradation of matrices of incorporated radioactive waste, and the duration of protective barriers in terms of time are relevant to the dynamics of climate change. The need to take into account the impact of global climate changes on the intensity of changes in the geomorphological characteristics of the locations of "green mounds" was noted. A particularly dangerous and powerful natural factor that will inevitably lead to the destruction of the "green mounds" is the influence of probable glaciation. The relevance of solving the scientific task of a complex combination of knowledge regarding the formation of the physical and geographical features of Polissia in the last 200 thousand years with the modeling of climate changes in the future 100 thousand years is emphasized, which will allow to reasonably accept or reject the very idea of near-surface burial of long-lived radioactive waste at the Chernobyl NPP site.

Key words: Chernobyl NPP, irradiated reactor graphite, near-surface disposal, green mound, climate change, glaciation.



DOI

УДК 351:502. 02:338

Решетченко А.І., Шаповалов О.І.

Решетченко А.І., кандидат технічних наук, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, ORCID: 0000-0003-0767-8597, alena.reshetchenko@gmail.com

Шаповалов О.І., Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, nekto.a2014@meta.ua

ОСОБЛИВОСТІ СТРАТЕГІЧНОЇ ЕКОЛОГІЧНОЇ ОЦІНКИ ТЕРИТОРІЙ СЕЛИЩНИХ ГРОМАД ЯК МЕХАНІЗМУ СПРИЯННЯ СТАЛОМУ РОЗВИТКУ

Стратегічна екологічна оцінка є одним із інструментів сприяння сталому розвитку шляхом забезпечення охорони навколишнього середовища і здоров'я населення та інтегрування екологічних вимог під час розроблення та затвердження документів державного планування, що особливо актуально для утворених територіальних громад в рамках реформи децентралізації України. Проаналізовано проблемне поле децентралізації сільських поселень, що проявляється у вирішенні проблем економічного та соціального спрямування як першочергових, в той час як питання охорони навколишнього природного середовища не мають пріоритету у вирішенні для селищних територіальних громад. В статті розглянуто на прикладі стратегічної екологічної оцінки (СЕО) Наталинської територіальної громади у Харківській області основні виклики, із якими можуть зіштовхуватись територіальні громади при впровадженні завдань стратегії розвитку громади. Проведено SWOT-аналіз поточної екологічної ситуації Наталинської територіальної громади, проаналізовано регіональні та локальні стратегічні цілі, що передбачені Стратегією розвитку Харківської області та Наталинської громади. Надамо опис основним факторам, що можуть обмежувати впровадження комплексу природоохоронних та екологічно безпечних управлінських рішень у розділі СЕО щодо надання рекомендацій з пом'якшення можливих негативних наслідків на стан довкілля. Такими викликами виступають: особливості просторових характеристик громад, природно-ресурсний потенціал, низька концентрація людського ресурсу, особливості застосування архітектурно-планувальних заходів сільської місцевості, віддаленість від адміністративних центрів, обмеженість громад до доступу усіх благ від екосистемних послуг. Зазначено, що звіт зі стратегічної екологічної оцінки варто застосовувати не лише як задокументований опис та оцінювання наслідків на довкілля, а й як складову інтегрованого управління ресурсами, природним потенціалом та плануванням землекористування. Адже стійкість системи визначається у її взаємному, паралельному розвитку сфер економіки, екології та соціуму, що є основою сталого розвитку.

Ключові слова: стратегічна екологічна оцінка, сталий розвиток, екологічна безпека, територіальна громада, пом'якшуючі заходи.

Вступ. Екологічна оцінка виступає одним із основних елементів реалізації екологічної політики. З метою урегулювання засад державної регіональної політики та політики відновлення регіонів і територій було підписано Закон України «Про стратегічну екологічну оцінку» [1]. Введення в дію цього документу із 2018 року в Україні започаткувало впровадження загальноприйнятої у Європейському союзі практики аналізу державних планувальних програм з точки зору їх стратегічного впливу на довкілля. Передумовою цього запровадження стало підписання Угоди про Асоціацію України з ЄС, затвердження базового плану Адаптації екологічного законодавства України до законодавства ЄС [2] та прийняття закону України «Про оцінку впливу на довкілля» [3]. Це стало важливим кроком для досягнення загально визнаної концепції сталого розвитку, до якої зараз долучені усі розвинені країни світу. З метою реалізації програми ООН «Трансформація нашого світу: Порядок денний сталого

розвитку на 2030 рік», яка включає у себе 17 цілей сталого розвитку та 169 завдань для їх реалізації, Президент України підписав указ «Про Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року» від 30.09.2019 р. [4].

Науковою спільнотою України загострювались питання актуальності та доцільності стратегічної екологічної оцінки в Україні як інструменту регулювання екологічної політики ще до введення в дію Закону України Про Стратегічну екологічну оцінку [5–6]. Сучасні дослідження щодо здійснення СЕО сконцентровані на вирішенні першочергових завдань сприяння сталому розвитку великих міст та впровадженні заходів щодо мінімізації негативних впливів на довкілля [7–8]. Позитивний європейський досвід впровадження та організації СЕО, що регламентується Директивою 2001/42/ЄС [9], та необхідність зосередження української спільноти на оцінюванні наслідків для довкілля, їх пом'якшення та організація екологічно безпечних природоохоронних рішень обумовлюють актуальність даного дослідження.

Метою дослідження є визначення обмежувальних аспектів впровадження комплексу еколого-орієнтованих управлінських рішень при здійсненні процедури СЕО з урахуванням засад сталого розвитку на прикладі Наталинської територіальної громади Харківської області.

Виклад основного матеріалу. В законодавчій термінології України затверджено, що сталий розвиток – це такий розвиток суспільства, при якому задовольняються усі потреби нинішнього покоління із урахуванням інтересів майбутніх поколінь [10]. Теорія сталого розвитку охоплює усі аспекти життєдіяльності населення та має вирішуватися усіма мешканцями і керівництвом населеного пункту, до якого застосовуються принципи такого розвитку, щоб забезпечити високу якість міського середовища та життя населення, рівновагу урбанізованого та природного середовища.

Проблемним колом у досягненні цілей сталого розвитку територіальних громад виступають виклики, пов'язані із реформою децентралізації. Серед них можливо виділити: проблеми фінансової спроможності утворених територіальних громад [11] та фінансово-економічна поляризація регіонів [12], уповільнення перейняття позитивних практик великих міст по відношенню до селищних громад. До масштабної та найбільш вагомій проблеми децентралізації України, як зазначено у деяких дослідженнях [13–16], слід віднести проблеми використання та управління земельними ресурсами. Даний факт

підтверджують і проведені опитування населення територіальних громад, що ставлять проблему землекористування на перше місце (рис. 1) [17].

Проаналізувавши «Звіт про результати дослідження успішності об'єднання територіальних громад» [17], можливо виділити першочергові проблеми, що були вирішені після об'єднання територіальних громад. Результати цього аналізу представлено на рис. 2.

Із вищенаведеного аналітичного огляду виходить, що першочерговими для вирішення повстають проблеми економічного та соціального розвитку територіальних громад, а забезпеченню реалізації екологічної політики та покращенню стану навколишнього природного середовища приділяється менше уваги, що завдає перешкод для реалізації розвитку територіальних громад на засадах сталого розвитку, оскільки існування цієї концепції може бути тільки за умови рівноваги соціальних, економічних та екологічних напрямів. Слід відмітити, що така нерівномірність у вирішенні проблем стосується як реформи децентралізації, так і державної політики в цілому [18].

Для ефективного врегулювання поточної екологічної ситуації, а також запровадження пом'якшуючих заходів щодо можливого негативного впливу на довкілля необхідно враховувати, що, незважаючи на проведену роботу стосовно реформи децентралізації, на даний час в Україні залишається актуальним ряд



Рис. 1. Негативні результати об'єднання громад (за результатами опитування [17])

Fig. 1. Negative results of community unification (according to survey results [17])

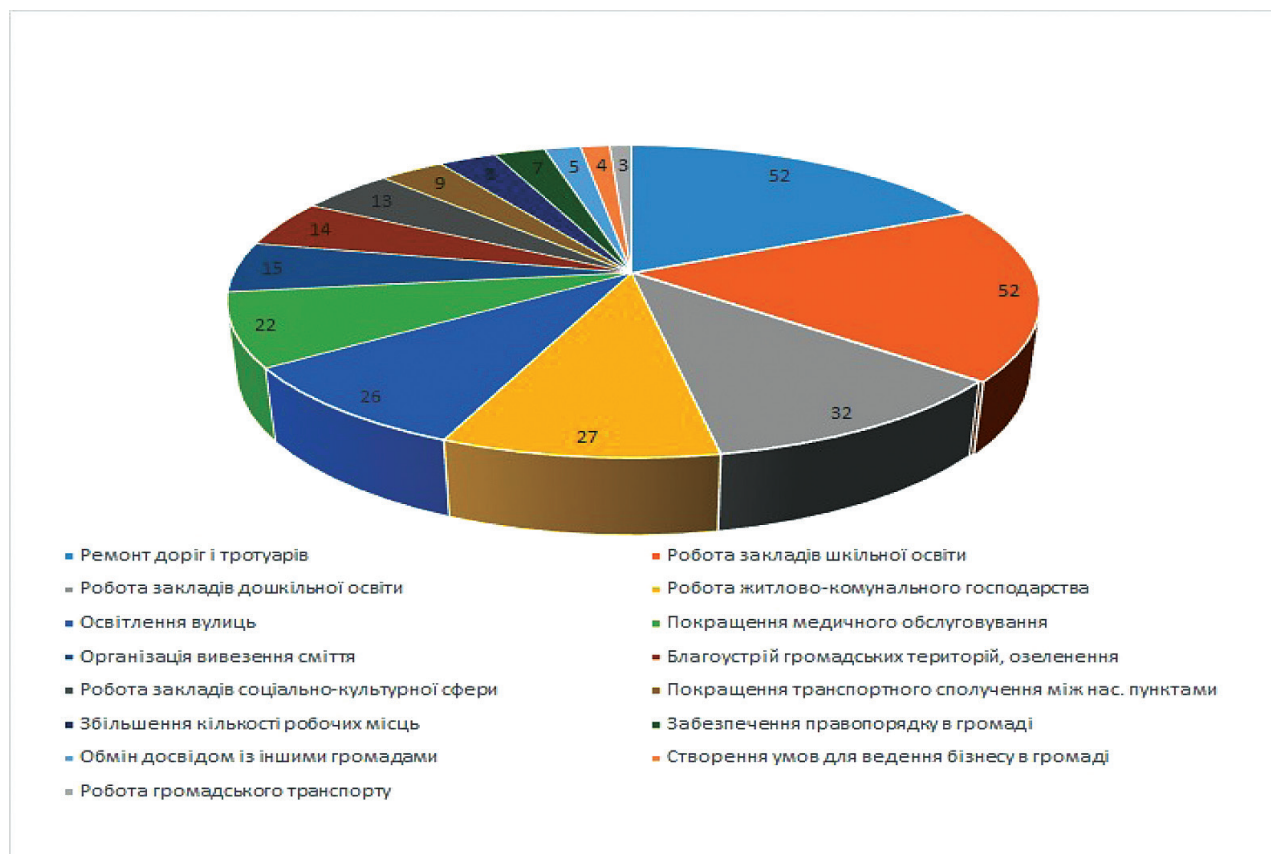


Рис. 2. Результати вирішення першочергових проблем після об'єднання громад (за результатами опитування [17])

Fig. 2. Results of solving priority problems after community unification (according to survey results [17])

проблем, які ускладнюють не тільки втілення запропонованих у результаті виконання стратегічної екологічної оцінки заходів, а й значно сповільнюють загальний рух із реалізації принципів сталого розвитку. Серед наявних перешкод слід виокремити: обмежені можливості громад, пов'язані із ландшафтно-просторовими характеристиками території, що позначаються на їх природно-ресурсному потенціалі; розвитку соціальної, транспортної та інженерної інфраструктури; концентрації людського ресурсу та вживаним архітектурно-планувальним заходам. Наразі для впровадження ефективних екологічно-безпечних рішень перед територіальними громадами повстають проблеми обмежених можливостей використання екосистемних послуг постачання та ін.

Отже, реалізація стратегічної екологічної оцінки як інструменту врегулювання екологічної політики здатна вивести на більш високу ланку процеси екологізації територіальних громад та стратегічного планування із урахуванням екологічних парадигм. На сьогодні є очевидним, що громади, які інвестують у захист навколишнього природного середовища, не лише вирішують екологічні питання, а й підвищують привабливість проживання у даній громаді та здатні сконцентрувати новий людський ресурс у регіонах, що позитивно

сприятиме економічному розвитку територіальних громад [19].

В результаті аналізу Стратегії розвитку Наталинської громади до 2025 року [20] (далі – Стратегія розвитку), а також офіційної інтегрованої довідки громади [21] розроблено SWOT-аналіз (табл. 1) поточної екологічної ситуації у Наталинській громаді, що є одним з найбільш ефективних інструментів стратегічного планування, оскільки дозволяє застосувати системний підхід щодо узагальнення зібраної інформації стосовно поточного стану громади.

Проведений аналіз свідчить, що існує негативна диспропорція між недоліками та перевагами поточного екологічного стану Наталинської громади. Водночас існує багато можливостей та загроз, що можуть або збільшити цей дисбаланс, або значно його пом'якшити.

Досягнення стану сталого розвитку є основною метою стратегічного бачення поточного та майбутнього розвитку Наталинської громади. Для забезпечення збалансованого та безперервного руху до цієї мети в основі проекту Стратегії розвитку Наталинської громади до 2025 року було покладено дві найбільш пріоритетні стратегічні цілі – економічний розвиток та підвищення якості життя у громаді.

Таблиця 1. SWOT – аналіз екологічної ситуації на території Наталинської громади

Table 1. SWOT – analysis of the environmental situation on the territory of the Natalyn community

Сильні сторони	Слабкі сторони
<ul style="list-style-type: none"> – значні ресурси земель сільськогосподарського призначення, що знаходяться у володінні ТГ; – сприятливі умови для розвитку сільського господарства (рослинництво, тваринництво); – бюджетна підтримка об'єднаних територіальних громад та позитивний досвід залучення субвенцій. 	<ul style="list-style-type: none"> – природне скорочення населення; – нестача кваліфікованих робітників; – відсутність дієвої системи роздільного збору, сортування, переробки і утилізації відходів; – зношеність дорожнього покриття; – деградація ґрунтів; – забруднення земельних та водних ресурсів підприємствами; – зношеність наявної системи водопостачання та водовідведення; – делегування повноважень органами державної влади громадам без забезпечення відповідних фінансових ресурсів на їх виконання.
Можливості	Загрози
<ul style="list-style-type: none"> – зростання світового попиту на екологічну сільськогосподарську продукцію; – створення і розвиток «зеленого туризму» та екотуризму; – розвиток енергозберігаючих технологій і альтернативних джерел енергії (сонячна, вітрова, енергія біомаси); – підвищення екологічної свідомості та залучення мешканців громади до заходів екологічного спрямування (відновлення лісосукуп, створення зелених зон, сортування сміття, розробка і реалізація екопроектів). 	<ul style="list-style-type: none"> – зростання трудової міграції і втрата трудових ресурсів; – погіршення демографічної ситуації, старіння населення та зменшення його чисельності; – збільшення випадків браконьєрства; – підвищення нестабільності економічної та політичної ситуації в Україні; – збереження тенденції до посилення ступеня деградації ґрунтів; – збільшення обсягів використання добрив та засобів захисту рослин, що негативно впливають на стан довкілля та якість життя населення.

Проведений аналіз цілей Стратегії розвитку Наталинської громади відповідно до екологічних цілей Стратегії розвитку Харківської області на 2021–2027 роки [22] встановив, що Стратегія розвитку Наталинської громади в цілому є нейтральною до регіональних цілей «Охорона та раціональне використання водних ресурсів», «Забезпечення якісного стану та відновлення деградованих й еродованих земель і ґрунтів» та «Збільшення лісистості області і збереження біорізноманіття». Регіональна ціль «Створення ефективної системи поводження з промисловими і твердими побутовими відходами» майже узгоджена із операційними цілями Стратегії розвитку Наталинської ТГ.

Аналізуючи ймовірні наслідки на довкілля, що можуть виникнути від реалізації Стратегії розвитку Наталинської ТГ, варто виділити основні можливі негативні впливи. Так, наприклад, виконання завдання «Покращення транспортної доступності та стану транспортної інфраструктури» передбачає збільшення чисельності транспортного потоку, що, у свою чергу, може збільшити викиди від пересувних джерел і призвести до погіршення стану атмосферного повітря. Реалізація Стратегії розвитку може призвести до збільшення обсягів утворення твердих побутових відходів (ТПВ) через розвиток сфери туризму, що передбачено завданням Стратегії «Створення туристичних продуктів». Досягнення операційної цілі «Підвищення рівня екологічної безпеки та впровадження енергоефективних технологій» може мінімізувати подібний вплив на навколишнє середовище, оскільки для її реалізації планується запровадження

та підтримка правил з благоустрою, організація роздільного збирання ТПВ.

На прикладі Наталинської територіальної громади можливо проаналізувати вузькість вибору управлінських рішень щодо забезпечення екологічної безпеки даної території через зазначені перешкоди.

Близько 80% земельного фонду громади становлять землі сільськогосподарського призначення, слугуючи тим самим ресурсно-економічним фундаментом на якому базується основний напрямок діяльності Наталинської ТГ. Втім, на сьогодні в Україні існує чітко сформована тенденція до зниження родючості земель через надмірну розораність та деградацію ґрунту в цілому. Особливо це стосується Степової зони (до якої відноситься територія Наталинської громади), де за 120 років вміст гумусу знизився на 19,5% [23]. Це є великою загрозою, що у перспективі ставить під питання досягнення Наталинською ТГ цілей сталого розвитку, але у її Стратегії розвитку відсутні заходи, що мають на меті боротьбу з цим несприятливим явищем. В цьому простежується не тільки недосконалість стратегічного бачення в управлінні громадою, а й вияв обмеженого природно-ресурсного потенціалу, який не дозволяє приділяти належну увагу вирішенню подібних масштабних проблем екологічного спрямування.

Слід зауважити, що проект Стратегії розвитку Наталинської ТГ був затверджений до об'єднання із Володимирівським, Кобзівським, Мартинівським, Петрівським, Попівським та Соснівським старостинськими округами. Однак треба враховувати і те, що реформа децентралізації загострила проблему нестачі

кваліфікованих кадрів та належного фінансування новоутворених громад, а це, у свою чергу, ще більше посилює наявні проблеми з ландшафтно-просторовими характеристиками територій громад та слугує додатковим обмежувальним фактором у прийнятті доцільних управлінських рішень щодо забезпечення екологічної безпеки.

Процедура стратегічної екологічної оцінки повинна виявляти усі можливі негативні наслідки реалізації Стратегії розвитку громади, враховувати варіанти для прийняття найкращих екологічно безпечних управлінських рішень із дотриманням принципів сталого розвитку та із недопущенням великих витрат бюджетного фонду. Спрямованість стратегічної екологічної оцінки полягає у виявленні недоліків, які визначені у документах державного планування (у розглянутому прикладі таким документом виступає Стратегія розвитку громади), та їх якнайшвидшого усунення.

Висновки. На прикладі Наталинської територіальної громади Харківської області було проаналізовано стратегічні цілі регіонального та локального масштабу, розкрито основні напрямки, що не охоплені у Стратегії розвитку Наталинської територіальної громади. Виявлено, що розробка та впровадження пом'якшувальних заходів із впливу на довкілля прямо пов'язана із просторовими характеристиками громади та її природно-ресурсним потенціалом, що у деяких випадках може бути ускладненою та не відповідати критеріям сталого розвитку або відповідати їм частково.

У цьому контексті стратегічна екологічна оцінка може розглядатись як необхідний механізм сприяння сталому розвитку, який дозволяє враховувати недоліки, що утворюються під час проведення державних реформ, зокрема реформи децентралізації, та значно зменшити або навіть попередити їх негативну дію з боку охорони навколишнього середовища.

Позитивним ефектом від використання стратегічної екологічної оцінки повинно бути стимулювання ощадливого, комплексного, екологічно безпечного та економічно раціонального використання природних ресурсів. Але проведені аналітичні дослідження свідчать, що дані аспекти СЕО можуть бути ускладнені через вузьку спрямованість економічної діяльності громади, яка обумовлена ресурсним потенціалом, інвестиційною непривабливістю території громади та просторово-ландшафтних характеристик і для вирішення загострених питань та одержання позитивного ефекту від впровадження СЕО з метою досягнення концепцій сталого розвитку територіальних громад потребує подальшого аналізу, вивчення та перейняття позитивних практик зарубіжного досвіду.

Література

1. Про стратегічну екологічну оцінку : Закон України від 20.03.2018 р. № 2354-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2354-19#Text> (дата звернення: 12.10.2022).
2. Щодо затвердження Базового плану Адаптації екологічного законодавства України до законодавства Європейського Союзу (Базовий план апроксимації) : Наказ Міністерства екології

та природних ресурсів України від 17 грудня 2012 р. № 659. URL: <https://ips.ligazakon.net/document/FIN81968?an=4> (дата звернення 26.09.2022).

3. Про оцінку впливу на довкілля : Закон України від 23.05.2017 р. № 2059-VIII. Дата оновлення: 13.05.2022 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2059-19#Text> (дата звернення: 12.10.2022).

4. Про цілі сталого розвитку України на період до 2030 року : Указ Президента України) від 30.09.2019 р. № 722/2019. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/722/2019#Text> (дата звернення: 10.10.2022).

5. Палехов Д.О. Правові проблеми імплементації стратегічної екологічної оцінки в Україні. *Держава і право : юридичні і політичні науки*. 2005. Вип. 28. С. 510–516.

6. Шевченко І.В. Стратегічна екологічна оцінка як інструмент екологічної політики України. *Економіка України*. 2016. № 10. С. 79–86.

7. Козаченко Т.П. Стратегічна екологічна оцінка в Україні: проблеми та перспективи. *Інвестиції: практика та досвід*. 2018. № 16. С. 98–101.

8. Гілета Л.А. Місце стратегічної екологічної оцінки в територіальному плануванні населених пунктів. Регіон – 2020: стратегія оптимального розвитку: матеріали міжнародної науково-практичної конференції (м. Харків, 8 – 9 жовтня 2020 р.). Харків : ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2020. С. 132–134.

9. Про оцінку впливу на стан навколишнього природного середовища окремих проектів та програм : Директива 2001/42/ЄС Європейського парламенту та Ради від 27 червня 2001 року. 9 с.

10. Про засади державної регіональної політики : Закон України від 05.02.2015 № 156-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/156-19/ed20150205#n30> (дата звернення: 12.10.2022).

11. Барановський М.О. Фінансова децентралізація в Україні: особливості становлення. *Український географічний журнал*. 2017. № 4. С. 30–38.

12. Орловська Ю.В., Кірюхін Р.О. Децентралізація влади в Україні: проблеми та перспективи розвитку. *Економічний простір*. 2021. № 172. С. 87–92. URL: <https://doi.org/10.32782/2224-6282/172-15>.

13. Новаковський Л.Я., Новаковська І.О., Бредіхін О.О. Муниципалізація землекористування в умовах децентралізації влади в Україні. *Український географічний журнал*. 2019. № 2. С. 23–31.

14. Россоха В., Плотнікова М. Розвиток сільських територій України в умовах децентралізації управління: стан, проблеми, перспективи. *Економічний дискурс. Міжнародний науковий журнал*. 2018. Вип. 4. С. 41–53.

15. Третяк А.М., Третяк В.М., Прядка Т.М. Територіальне планування землекористування в контексті формування фінансової стійкості об'єднаних територіальних громад. *Землеустрій, кадастр та моніторинг земель*. 2017. № 1. С. 21–27.

16. Мальчикова Д.С., Бєлая І.С. Практика децентралізації в Херсонській області: територіальні ресурси громад і проблеми землеустрою. *Вісник Одеського національного університету*. 2020. Том 25. № 1(36). С. 110–125.

17. Звіт про результати дослідження успішності об'єднання територіальних громад. URL: https://web.archive.org/web/20171010183618/http://decentralization.gov.ua/pics/attachments/decentralization_report_2017.pdf (дата звернення: 10.11.2022).

18. Кононенко І. Державна екологічна політика в умовах децентралізації влади в Україні. *Геополітика України: історія і сучасність*. Т. 2, № 27. С. 67–74

19. Василюк О., Лямінська Л. Екосистемні послуги. Огляд. 77 с. URL: https://uncg.org.ua/wp-content/uploads/2020/09/EcoPosluga_web_new.pdf (дата звернення: 20.09.2022).

20. Стратегія розвитку Наталинської сільської об'єднаної територіальної громади на період до 2025 року: проект. URL: <http://krasnodardra.gov.ua/2019/02/13/strategichnij-plan-rozvitku-naktalinsko%D1%97-silsko%D1%97-obyednano%D1%97-teritorialno%D1%97-gromadi-do-2025-roku/> (дата звернення: 20.09.2022).

21. Інтегрована довідка Наталинської територіальної громади – Красноградська районна державна адміністрація. URL: <http://krasnogradrda.gov.ua/integrovana-dovidka-natalinskoj-teritorialnoi-gromadi/> (дата звернення: 20.09.2022).

22. Проект Стратегії розвитку Харківської області на 2021-2027 роки. Харків, 2020. С. 97–99. URL: <https://kharkivoda.gov.ua/content/documents/1026/102538/files/Стратегія.pdf> (дата звернення: 10.10.2022).

23. Національна доповідь про стан родючості ґрунтів України / редкол Балюк С.А., Медведєв В.В., Тараріко О.Г. та ін. Київ, 2010. С. 15–37. URL: http://www.iogu.gov.ua/wp-content/uploads/2013/07/stan_gruntiv.pdf (дата звернення: 10.11.2022).

References

1. On strategic environmental assessment: Law of Ukraine dated March 20, 2018 No. 2354-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2354-19#Text> (access date 10/12/2022).

2. Regarding the approval of the Basic Plan for the Adaptation of the Environmental Legislation of Ukraine to the legislation of the European Union (Basic Plan of Approximation): Order of the Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine dated December 17, 2012 No. 659. URL: <https://ips.ligazakon.net/document/FIN81968?an=4> (application date 09/26/2022).

3. On environmental impact assessment: Law of Ukraine dated May 23, 2017 No. 2059-VIII. Date of update: 05/13/2022. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2059-19#Text> (access date 10/12/2022).

4. On the goals of sustainable development of Ukraine for the period up to 2030: Decree of the President of Ukraine dated September 30, 2019 No. 722/2019. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/722/2019#Text> (date of application 10.10.2022).

5. Palekhov D. O. (2005), *State and law: legal and political sciences*. V. 28. pp. 510–516.

6. Shevchenko I. V. (2016), *Ukraine economy*. № 10. pp. 79-86.

7. Kozachenko T.P. (2018), *Investments: practice and experience*. №16. pp. 98–101.

8. Materials of the international scientific-practical conference (Kharkiv, October 8-9, 2020). Kharkiv: KhNU named after V.N. Karazina, 2020. P. 132–134.

9. On the assessment of the impact on the environment of individual projects and programs: Directive 2001/42/EC of the European Parliament and the Council of June 27, 2001. 9 p.

10. On the principles of state regional policy: Law of Ukraine dated February 5, 2015 No. 156-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/156-19/ed20150205#n30> (access date 10/12/2022).

11. Baranovskyi M.O. (2017). *Ukrainian Geographical Journal*. № 4. pp. 30–38.

12. Orlovskaya, Yu. V., Kiriukhin, R. O. (2021). *Economic space*. № 172. S. 87–92. <https://doi.org/10.32782/2224-6282/172-15>.

13. Novakovskiy L. Ya., Novakovska I. O., Bredikhin O. O., Stetsiuk M. P., Skrypnyk L. R. (2019). *Ukrainian Geographical Journal*. № 2. pp. 23–31.

14. Rossokha V., Plotnikova M. (2018). *Economic discourse. International scientific journal*. Vyp. 4. S. 41–53.

15. Tretiak A. M., Tretiak V. M., Priadka T. M., Tretiak N. A. (2017). Territorial planning of land use in the context of the formation of financial stability of united territorial communities. Land management, cadastre and land monitoring. 2017. No. 1. P. 21–27.

16. Malchykova D.S., Bielaia I.S. (2020). *Bulletin of Odessa National University*. Tom 25. № 1(36). pp. 110–125.

17. Report on the results of the study of the success of the unification of territorial communities. URL: web.archive.org/web/20171010183618/http://decentralization.gov.ua/pics/attachments/decentralization_report_2017.pdf (access date: 11/10/2022).

18. Kononenko I. Geopolitics of Ukraine: history and modernity. Vol. 2, № 27. pp. 67–74.

19. Vasylyuk O., Ilminska L. Ecosystem services. Review. 77 p. URL: https://uncg.org.ua/wp-content/uploads/2020/09/EcoPoslугy_web_new.pdf (access date: 09/20/2022).

20. Development strategy of the Natalina rural united territorial community for the period until 2025: draft. URL: <http://krasnogradrda.gov.ua/2019/02/13/strategichniy-plan-rozvitku-naktalinsko%D1%97-silsko%D1%97-obyednano%D1%97-teritorialno%D1%97-gromadi-do-2025-roku/> (access date: 09/20/2022).

21. Integrated help of the Natalina Territorial Community - Krasnograd District State Administration. URL: <http://krasnogradrda.gov.ua/integrovana-dovidka-natalinskoj-teritorialnoi-gromadi/> (date of application: 09/20/2022).

22. Project of the Kharkiv Oblast Development Strategy for 2021-2027. Kharkiv, 2020. P. 97–99. URL: <https://kharkivoda.gov.ua/content/documents/1026/102538/files/Strateghiya.pdf> (access date: 10.10.2022).

23. National report on the state of soil fertility of Ukraine / edited by S. A. Balyuk, V. V. Medvedev, O. G. Tarariko, V. O. Grekov, A. D. Balaev, Kyiv, 2010, pp. 15–37. URL: http://www.iogu.gov.ua/wp-content/uploads/2013/07/stan_gruntiv.pdf (access date: 11/10/2022).

PECULIARITIES OF THE STRATEGIC ECOLOGICAL ASSESSMENT OF THE TERRITORIES OF SETTLEMENT COMMUNITIES AS A MECHANISM FOR PROMOTING SUSTAINABLE DEVELOPMENT

Reshetchenko A.I., Shapovalov O.I.

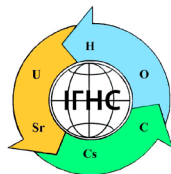
Reshetchenko A.I., PhD (Engineering), O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, ORCID: 0000-0003-0767-8597, alena.reshetchenko@gmail.com

Shapovalov O.I., O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, neko.a2014@meta.ua

Strategic environmental assessment is one of the tools for promoting sustainable development by ensuring the protection of the environment and public health and integrating environmental requirements during the development and approval of state planning documents, which is especially relevant for territorial communities formed within the framework of Ukraine's decentralization reforms. The article examines the main challenges that territorial communities may face when implementing community development strategy tasks and mitigating measures to minimize the negative impact on the environment using the example of a strategic environmental assessment (SEA) of Natalyn territorial community in Kharkiv region. A SWAT analysis of the current environmental situation of the Natalina territorial community was developed, regional and local strategic goals, provided for by the Development Strategy of the Kharkiv region and the Natalina community, were analyzed. A description of the main factors that can limit the implementation of a complex of environmental protection and ecologically safe management solutions in the SEA section regarding the provision of recommendations for mitigating the negative effects on the state of the environment is given. Such challenges are: peculiarities of spatial characteristics of communities, natural resource potential, low concentration of human resources, peculiarities of architectural and planning measures in rural areas Strategic environmental assessment is one of the tools for promoting sustainable development by ensuring the protection of the environment and public health and integrating environmental requirements during the development and approval of state planning documents, which is especially relevant for territorial communities formed within the framework of Ukraine's decentralization reforms. The problematic field of decentralization

of rural settlements is analyzed, which manifests itself in the solution of problems of economic and social direction as the first priority, while the issues of environmental protection do not have a priority in the solution for settlement territorial communities. The article examines the main challenges that territorial communities may face when implementing community development strategy tasks using the example of a strategic environmental assessment (SEA) of Natalyn territorial community in Kharkiv region. A SWOT analysis of the current ecological situation of the Natalina territorial community was conducted, regional and local strategic goals, provided for by the Development Strategy of the Kharkiv region and the Natalina community, were analyzed. A description of the main factors that can limit the implementation of a complex of environmental protection and ecologically safe management solutions in the section of the SEA on providing recommendations for mitigating possible negative effects on the state of the environment is provided. Such challenges are: peculiarities of spatial characteristics of communities, natural resource potential, low concentration of human resources, peculiarities of application of architectural and planning measures in rural areas, remoteness from administrative centers, limited access of communities to all the benefits of ecosystem services. It is noted that the strategic environmental assessment report should be used not only as a documented description and assessment of environmental consequences, but also as a component of integrated management of resources, natural potential and land use planning. After all, the stability of the system is determined in its mutual, parallel development of the spheres of economy, ecology and society, which is the basis of sustainable development.

Key words: *strategic environmental assessment, sustainable development, environmental security, territorial community, mitigating measures.*



ЗАБУЛОНОВ ЮРІЙ ЛЕОНІДОВИЧ

член-кореспондент НАН України, доктор технічних наук, професор.

Директор Державної установи «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», 1952 року народження; лауреат Державної премії України; автор більше 250 наукових публікацій, серед яких 6 монографій, 32 патенти та 29 актів упровадження

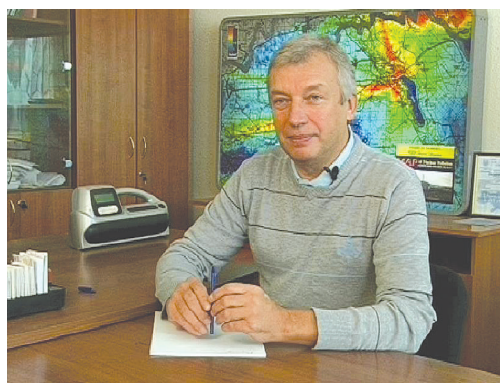
Ю.Л. Забулонов – провідний учений у галузі ядерно-радіаційної фізики. Зробив вагомий внесок у розвиток теорії фізики взаємодії випромінювання із твердими тілами: розробив кінетичні моделі просторової дисипації енергії іонів у каскаді пружних і непружних зіткнень із матеріалами різних типів з урахуванням переносу енергії атомами віддачі, розсіювання на будь-які кути зміщених атомів, непружних втрат енергії; на їх основі побудував модель еволюції радіаційних дефектів, яка враховує їх дифузію, а також методи принципово нового детектора β -частинок на основі фулериту C_{60} .

Розробив теоретико-методологічні основи нової технології просторово-часового аналізу полів радіаційного випромінювання: метод стохастичного аналізу для прямого вимірювання й оцінювання функцій розподілу вірогідностей випадкових процесів; динамічний метод, що забезпечують можливість аналізувати швидкоминучі ядерні процеси в реальному й обмеженому часі спостережень, за однократної реалізації процесу спостереження.

У його доробках фундаментальні наукові дослідження НАН України з питань ядерно-екологічної безпеки й очищення рідких радіоактивних відходів об'єктів ядерно-паливного циклу: за період 2007–2021 рр. очолюваний ним відділ брав участь у виконанні 11 фундаментальних науково-дослідних робіт, низки програмно-цільових і конкурсних тем НАН України та понад 20 програмно-цільових і конкурсних тем НАН України (прикладні проекти).

У рамках програмно-цільових і конкурсних тем НАН України виконував роботи з розроблення та впровадження автоматизованої системи швидкого реагування дистанційного контролю об'єктів ядерно-паливного циклу на базі безпілотного літального апарату, створення типового пілотного модуля виявлення й ідентифікації, контролю та запобігання несанкціонованому розповсюдженню ядерно-радіаційних матеріалів на об'єктах ядерної енергетики, магістральних шляхах, державному кордоні тощо.

Під його науковим керівництвом і за безпосередньою участю були створені технічні засоби, які знайшли широке практичне застосування: зокрема, з 1988 до



2021 р. в рамках виконання Національної програми ліквідації наслідків аварії на Чорнобильській АЕС НДДКР «Прилади радіаційного контролю» та інших науково-технічних проєктів були розроблені методики та побудовані технічні засоби: аерогамаспектрометричний комплекс «АСПЕК», спектрометр внутрішнього гамма-випромінювання людини типу «Скринер», ПРС «Вектор» – використувувалася в контролі радіаційної безпеки умов розташування та діяльності миротворчого підрозділу України в Косово у складі сил KFOR, радіометр «FOODLIGHT», безпілотний літальний апарат типу «Октокоптер», рідинносцинтиляційний аналізатор, плазмо-хімічна установка очищення техногенно забруднених вод тощо.

Він є науковим керівником низки зарубіжних проєктів, що виконувалися в рамках грантів Великобританії, США, а також плідно співпрацює із зарубіжними науковцями в рамках спільних проєктів: Україна – Англія, Україна – США, Україна – Бельгія, Україна – Шотландія, Україна – Туреччина.

Унікальність розробок очолюваного ним колективу: єдині в Україні розробили та застосовують технологію й апаратуру дистанційного (з борту літального апарату будь-якого типу, БПЛА також) радіаційного картування територій, зокрема й Чорнобильської зони відчуження; уперше у світі розроблено наукові засади, технології й апаратні засоби синтезу нанодисперсних нанокompatитів в умовах дії імпульсних магнітних полів багатофункціонального призначення: спеціалізовані

сорбенти, носії для транспорту ліків у кровоносних системах людини тощо; лідери в розробленні плазмохімічної технології – розроблено інноваційні плазмохімічні реактори, насамперед для очищення рідких радіаційних відходів від радіонуклідів об'єктів ЯПЦ, техногенно забруднених стічних вод від ядохімікатів; для утилізації стійких органічних забруднювачів (отрутохімікати тощо).

Ці наукові досягнення були отримані завдяки поєднанню та використанню знань на стику декількох наук – фізики, хімії, геохімії, фізики плазми та спінової хімії.

Активну наукову діяльність поєднує з науково-організаційною та громадською діяльністю. Він є членом Національної комісії з радіаційного захисту населення України при Верховній Раді України.

У 1993 р. за досягнення в інноваційних технологіях його було нагороджено Золотою медаллю “BRUSSELS EUREKA’93” на Міжнародній виставці в м. Брюсселі (Бельгія).

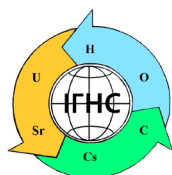
Бере активну участь у дослідницьких програмах із зарубіжними партнерами, зокрема в рамках проекту НАТО «Наука заради миру та безпеки» (“Reliable Nuclear Materials Identification Technology From Spectrometry data”) (2016–2019 pp.), під час розроблення теми «Дистанційне картографування пунктів тимчасового захоронення радіоактивних відходів і оцінки рівнів радіоактивного забруднення

методами лідарного і радіаційного сканування території досліджень» (2017–2020 pp.) – спільно з японсько-німецькими колегами (Мюнхенський університет, PLEJADES і Quantum Systems), проведення науково-дослідних робіт із дистанційного картографування території зони відчуження за допомогою системи LIDAR і радіаційного сканування території досліджень, Грант – Великобританія, № 46343, “Advanced cold plasma technology for removal of persistent organic pollutants from fresh water” (2020 p.), Великобританія, № GC-364, “Multifunctional system of automatic remote monitoring and mapping of radioactivity – GS Smart” (2021 p.), проєкт НАТО – “A novel nanoparticle based real-time sensor for B. anthracis and M. Tuberculosis” (2021–2023 pp.). EURAD від 24 травня 2019 р. «Допомога Європейським країнам упровадити програми поводження з радіоактивними відходами» (2019–2024 pp.).

Ініціативний і комунікабельний, компетентний і ерудований, Юрій Леонідович – справжній лідер, який своєю активною життєвою позицією та витонченим почуттям гумору надихає на нові звершення та додає оптимізму.

Уся творча активність, наснага та талант Ю.Л. Забулонова спрямовані на поширення української науки у світовому інформаційному просторі!

Наснаги та нових творчих злетів!



**УЧЕНИЙ, ПОЕТ, РОМАНТИК
(ПАМ'ЯТІ ЧЛЕНА-КОРЕСПОНДЕНТА
НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ
РУДОЛЬФА ЯКОВИЧА БЕЛЕВЦЕВА
(5 ЛИПНЯ 1937 РОКУ – 27 ГРУДНЯ 2022 РОКУ))**

Уйти, чтобы остаться,
Ведь жизнь как шоу!
С иллюзией расстаться,
Все начать снова.

Уходишь, чтобы возвратиться,
Влюбиться, чтобы измениться,
Играть, чтоб веселиться,
Сгореть, чтоб возродиться!

(2002 р.)¹

27 грудня 2022 р. на 86 році пішов із життя видатний учений, лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, член-кореспондент НАН України, доктор геолого-мінералогічних наук, професор, завідувач відділу екологічної геології та термодинаміки геосфер Державної установи «Інститут геохімії навколишнього середовища Національної академії наук України» **Рудольф Якович Белєвцев.**

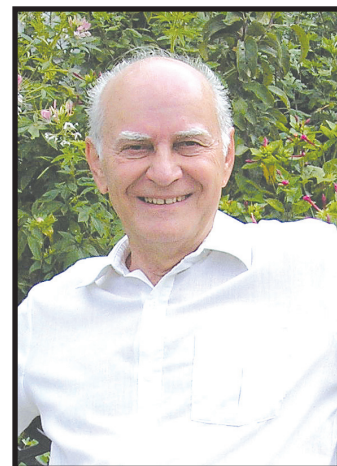
Рудольф Якович народився 5 липня 1937 р. на Північному Кавказі в селищі Садон Алагірського району Північно-Осетинської Автономної Радянської Соціалістичної республіки в сім'ї майбутнього академіка Національної академії наук України, професора, доктора геолого-мінералогічних наук, одного із засновників металогенічної школи в Україні та Відділення металогенії Інституту геохімії і фізики мінералів АН УРСР (нині – Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища Національної академії наук України») Якова Миколайовича Белєвцева.

У своїх спогадах Рудольф Якович писав:

«Від батька – я став геологом (точніше, петрологом і геохіміком), досліджував геологію Українського щита, був у Якутії, алмазній трубці «Зірниця», у Забайкаллі, Казахстані, Прибалтиці, Закарпатті, був у міжнародних рейсах на науково-дослідницькому судні «Академік Вернадський» по Індійському й Атлантичному океанам із заходами у Грецію, Єгипет, на Сейшели, в Індію, Цейлон, Сінгапур, Бразилію, Гвінею, у геологічних маршрутах по Іспанії, Англії, досліджував проблеми утворення порід Кривбасу, уранових родовищ, первинного кислого океану, вільного кисню, ядерної енергетики, термодинаміки ізотопів, тектоніки плит.

Під його керівництвом довелося навіть захистити докторську дисертацію.

Від матері – отримав ім'я Рудольф, оскільки мати захоплювалася відомим у її молодості артистом Рудольфом Валентино; мати в молодості грала на гітарі та співала, обожнювала музику, і тому примусила мене закінчити Криворізьку семирічну музикальну



школу за класом скрипки, завдяки чому я часто виступав у складі симфонічного оркестру школи разом із двоюрідним братом Аліком із концертами на рудниках Кривбасу. Грали й симфонії, наприклад Вівальді. Займався спортом – гімнастикою, баскетболом, шахами. Танцюю, особливо після банкетів <...>».

Рудольф Якович пройшов славетний професійний шлях – від посади інженера-геолога до члена-кореспондента НАН України. У 1959–1962 рр. Р.Я. Белєвцев працював інженером-геологом у Забайкальській експедиції науково-дослідного сектору Київського державного університету імені Т.Г. Шевченка, у 1962–1965 рр. він – аспірант Інституту геологічних наук АН УРСР, 1965–1969 рр. – в Інституті геологічних наук АН УРСР, з 1969 р. працював в Інституті геохімії та фізики мінералів Академії наук УРСР (з 1991 р. – Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення НАН України) на посадах наукового та старшого наукового співробітника, у 1985–1994 рр. – завідувач відділу, з 1994 до 1997 рр. – заступник директора з наукової роботи Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення НАН України. У 1990 р. був обраний членом-кореспондентом АН УРСР за спеціальністю петрологія і рудні родовища. З 1997 р. він працював на посаді головного наукового співробітника Державного наукового центру радіогеохімії навколишнього середовища НАН та МНС України (нині – Державної установи «Інститут геохімії навколишнього середовища Національної академії наук України»), де із 2000 р. очолював відділ екологічної геології та термодинаміки геосфер (сучасна назва). У 2016–2021 рр.

¹ Поетичні твори Р.Я. Белєвцева цитуються за виданням: Валентинов Рудольф (Белєвцев Р.Я.). Россыпи стихов полусерьезных. Киев, 2017. 62 с.

він працював заступником академіка-секретаря Відділення ядерної фізики та енергетики НАН України.

Рудольф Якович – автор понад 240 наукових праць, серед яких 45 монографій. Основна наукова діяльність Р.Я. Белевцева була пов'язана з вирішенням проблем петрології та геохімії метаморфічних порід докембрію. Р.Я. Белевцев уперше обґрунтував ізобарну регіональну метаморфічну зональність Українського щита, розробив модель інфільтраційного генезису ранньопротерозойських альбітитових уранових родовищ Українського щита. Р.Я. Белевцев досліджував розріз Криворізької надглибокої свердловини, очолював петрографічне вивчення керна цієї свердловини, основним результатом цих досліджень стала побудова нової моделі глибинної геологічної будови Криворізького залізорудного басейну. У 1979 та 1984 рр. у процесі виконання геолого-геофізичних наукових програм Р.Я. Белевцев очолював роботи з вивчення петрографії кристалічних порід океанічного дна в Індійському й Атлантичному океанах. Останні наукові дослідження Рудольфа Яковича були спрямовані на вивчення термодинаміки земної кори, еволюції атмосфери та біосфери під впливом природних і техногенних чинників. Наукові досягнення Р.Я. Белевцева відзначено Премією АН УРСР ім. В.І. Вернадського (1978 р.) та Державною премією України в галузі науки і техніки (1998 р.).

За своєю природою Рудольф Якович був романтиком і поетом. У своїх спогадах він писав: «<...> Мене ніколи особливо не притягала поезія, певне, було досить творчої наукової роботи. Проте раптом із початку ХХІ ст. з мене пішли вірші. Чому так вийшло, не знаю. Може, самі вірші це прояснять <...>». На спогад про матір та її юнацькі захоплення він узяв собі

псевдонім Рудольф Валентинов, а збірку своїх віршів, яку опублікував у 2017 р., назвав «Розсипи віршів напівсерйозних».

Усі незгоди, як і вік, він сприймав із притаманними йому оптимізмом і гумором:

О, как я рад, что спала пелена,
Висевшая годами предо мною,
Я вижу мир, в котором не одна,
А много прелестей, – уже текут рекою.

(2003 р.)

Ми знали Рудольфа Яковича як енергійну людину, знанням, життєвому запалу й силі якої могли позаздрити більшість сучасних молодих людей. До останнього Вчений керував відділом екологічної геології та термодинаміки геосфер і науковим еколого-геохімічним семінаром Державної установи «Інститут геохімії навколишнього середовища Національної академії наук України». Не забуваємо, що покоління Рудольфа Яковича належить до дітей війни, покоління, яке росло та виховувалося під час Другої світової війни, якому були відомі всі жахи та негаразди життя під час війни. Не пройшла повз нього і російська агресія, він пережив жахливі два місяці окупації в Ірпені. На жаль, Рудольф Якович не дочекався нашої перемоги та закінчення війни, хоча всім серцем вірив у це.

Наукова громадськість і освітяни України, колеги та друзі широко сумують через смерть Рудольфа Яковича Белевцева та висловлюють свої співчуття його родині. Він залишиться в нашій пам'яті Вченим, Учителем, Керівником, який з оптимізмом дивився в майбутнє та щиро вболівав за вільну незалежну Україну.

ІНФОРМАЦІЯ ДЛЯ АВТОРІВ збірника «Геохімія техногенезу»

До опублікування у збірнику приймаються наукові праці, які ніколи не друкувалися раніше. Стаття має бути написана на актуальну тему, містити результати глибокого наукового дослідження, новизну та обґрунтування наукових висновків відповідно до мети статті (поставленого завдання). Кожен автор може подати не більше двох статей в одному випуску.

Рукописи приймаються обсягом 6-15 сторінок (разом з літературою, розширеними анотаціями) формату А-4, через **1,5 інтервали для основного тексту, та 1 інтервал для анотацій та літератури. Поля: всі – по 2 см, абзац – відступ на 1,25 см. Шрифт основного тексту: Times New Roman, розмір – 12; шрифт анотацій та літератури – 10 pt.**, виконані на комп'ютері у редакторі Word for Windows (*.doc). Для набору формул, графіків і таблиць використовують спеціальні програми, вмонтовані у Word for Windows. **У статті не повинно бути переносів слів.** Номери сторінок не проставляти.

Статті подаються українською, російською чи англійською мовами у друкованому вигляді та в електронному варіанті (електронною поштою чи на електронному носії).

Питання, пов'язані з публікацією наукових оглядів (не більше 9000 слів і 10 рисунків), вирішуються редколегією на підставі заздалегідь наданої авторами розширеної анотації роботи та транслітерованого списку літератури.

Кожна стаття повинна мати код «УДК» (вгорі ліворуч). Нижче зліва – назва статті великими літерами (шрифт напівжирний Times New Roman, розмір – 12), вирівнювання по лівому краю. Нижче – прізвище та ініціали авторів, (звичайними літерами, шрифт напівжирний, прямий, розмір – 12). З нового рядка : прізвище та ініціали кожного з авторів із зазначенням наукового звання, посади, установи, де працює автор, електронної адреси (розмір – 8). **Назва, ПІБ, посада, місце роботи, наукове звання, ORCID та електронна адреса дублюються англійською мовою перед відповідною анотацією.**

План статті:

1. вступ – постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з важливими практичними завданнями;
2. останні дослідження та публікації, на які спирається автор, виділення невирішених частин загальної проблеми, котрим присвячується дана стаття;
3. мета статті (постановка завдання);
4. виклад власне матеріалу дослідження;
5. висновки та перспективи подальших досліджень у цьому напрямку.

Обов'язкові вимоги до анотацій, які повинні бути:

- інформативними (без загальних слів);
- структурованими (відображати послідовну логіку опису результатів у статті);
- змістовними (відображати основний зміст статті; описувати основні цілі дослідження; висвітлювати найбільш значущі результати);
- містити конкретизацію авторського внеску (що розроблено, що запропоновано, що виявлено і т.д.);
- не містити посилань та аббревіатури.

Анотація українською та англійською мовами обов'язкові та мають містити кожна не менше 1800 знаків.

Таблиці повинні мати назви. Шрифт *TimesNewRoman* (розмір 10 pt).

Ілюстрації надавати в електронному вигляді у форматі *COREL, TIF, JPG* з роздільною здатністю 300 dpi для напівтонових рисунків, 600 dpi – для штрихових. **Текстові написи на рисунках, незалежно від мови статті, повинні бути англійською.**

Бібліографія. Посилання на джерела використаних матеріалів, фактичних та статистичних даних є обов'язковими і подаються у тексті у хронологічному порядку цифрою у квадратних дужках, Назви праць у списку літератури розміщують в порядку цитування в тексті.

Список літератури. Список використаної літератури оформлюється відповідно до вимог ДСТУ 8302:2015 «Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання».

References. Відповідно до вимог міжнародних наукометричних баз – згідно зі стандартом *Harvard* (www.emeraldinsight.com/authors/guides/write/harvard.htm?part=2). Бібліографічні дані повинні містити (транслітеровані латиницею) прізвища та ініціали всіх авторів статті/книги, рік публікації (в круглих дужках), назву журналу/книги, том і номер випуску журналу, (для книг – видавництво і місце видання), сторінковий інтервал статті, DOI (за наявності). Посилання в тексті на опубліковані літературні джерела слід наводити **цифрами у квадратних дужках**, що відповідають порядковому номеру джерела у пристатейному списку.

Посилання на неопубліковані матеріали не дозволяються.

Наприклад:

Література

1. Тарасевич Ю.И. Стрoение и химия поверхности слоистых силикатов. Киев: Наук. Думка, 1988. 248 с.
2. Пушкаръов О.В., Приймаченко В.М. Взаємодія тритієвої води з глинистими мінералами *Зб. наук. пр. Ін-ту геохімії навколиш. середовища*. 2010. Вип. 18. с. 149–161.
3. Ali A.A., El-Bishtawi R. Removal of lead and nickel ions using zeolite tuff. *J. Chem. Technol. and Biotechnol.* 1997. 69. p. 27–34.

References

1. Tarasevich, Yu.I. (1988), *Stroenie i himiya poverhnosti sloistyh silikatov*, Nauk. dumka, Kyiv, UA, 248 p.
2. Pushkarov, O.V. and Priymachenko, V.M. (2010), *Zb. nauk. pr. Inst. Geohimii Navkolyshnogo Seredovyshcha*, Kyiv, UA, Vyp. **18**:149–161.
3. Ali, A.A. and El-Bishtawi, R. (1997), *J. Chem. Technol. and Biotechnol.*, **69**: 27–34.

Матеріали, що публікуються в журналі, підлягають внутрішньому і зовнішньому рецензуванню, яке здійснюють члени редколегії журналу, фахівці відповідної галузі. Рецензування проводиться конфіденційно. **У разі негативної рецензії чи наявності суттєвих зауважень, стаття може бути відхилена або повернута авторові (авторам) на доопрацювання.**

Стаття, подана без дотримання зазначених вимог, опублікуванню не підлягає. Відповідальність за достовірність інформації, фактів та інших відомостей, посилань на нормативні акти, цитати, власні імена, а також правильність перекладу несуть автори публікації.

До статті авторів з інших установ повинен додаватись акт експертизи даної установи щодо можливості відкритої публікації поданих матеріалів.

Редакція залишає за собою право вносити орфографічні, лексичні та синтаксичні зміни у матеріал статей без узгодження з авторами за умови збереження змісту. **В цілому відповідальність за текст статті лежить на авторах.**

До тексту статті обов'язково додається авторська довідка про всіх співавторів.

Редколегія Збірника звертається до авторів з проханням дотримуватись належних вимог щодо оформлення поданих статей.

НОТАТКИ

ГЕОХІМІЯ ТЕХНОГЕНЕЗУ

Випуск 8 (36)

GEOCHEMISTRY OF TECHNOGENESIS

Issue 8 (36)

Здано до набору 27.12.2022 р. Підписано до друку 28.12.2022 р.

Формат 60x84/8. Папір офсет. Цифровий друк.

Ум. друк. арк. 7,67. Замов. № 0323/199. Наклад 300 прим.

Видавництво і друкарня – Видавничий дім «Гельветика»

65101, Україна, м. Одеса, вул. Інглєзі, 6/1

Телефон +38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08

E-mail: mailbox@helvetica.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

ДК № 7623 від 22.06.2022 р.