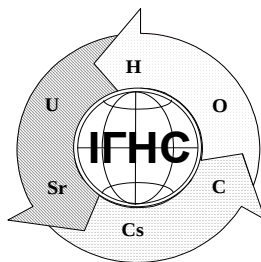


НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНА УСТАНОВА
«ІНСТИТУТ ГЕОХІМІЇ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА НАН УКРАЇНИ»



**ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ
ІНСТИТУТУ ГЕОХІМІЇ НАВКОЛИШНЬОГО
СЕРЕДОВИЩА
випуск 26**

**СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ
ИНСТИТУТА ГЕОХИМИИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
выпуск 26**

**COLLECTED SCIENTIFIC PAPERS
INSTITUTE OF ENVIRONMENTAL GEOCHEMISTRY
Issue 26**

Київ-2016

Редакційна колегія

Головний редактор БЕЛЄВЦЕВ Р.Я.

член-кор. НАНУ, д-р геол.-мін. наук

Заступники головного редактора:

БОНДАРЕНКО Г. М. д-р геол.-мін. наук

ВЕРХОВЦЕВ В. Г. д-р геол. наук

Члени редколегії:

Горлицький Б. О. д-р геол.-мін. наук

Дівізінюк М. М. д-р фіз.-мат. наук

Долін В. В. д-р геол. наук

Забулонов Ю. Л. член кор. НАНУ, д-р техн. наук

Ковач В.О. канд. техн. наук

Лисиченко Г. В. член кор. НАНУ, д-р техн. наук

Ольховик Ю. О. канд. геол.-мін. наук

Сушук К. Г. канд. геол.-мін. наук

Чумаченко С. М. д-р техн. наук

Шабалін Б. Г. д-р геол.-мін. наук

Шраменко І.Ф. канд. геол.-мін. наук

Ярошук М. О. д-р геол.-мін. наук

Яцишин А. В. д-р техн. наук

Відповідальні секретарі:

Демченко Л. В. канд. фіз.-мат. наук

Задвернюк Г. П. канд. геол.-мін. наук

Наукові редактори: Белевцев Р. Я., Лисиченко Г. В.,
Бондаренко Г. М.

Адреса редакції

Україна, МСП 03680, м. Київ-142, пр. Палладіна 34-А
(38-044) 423-81-35;

e-mail: igns@i.com.ua ; demchenko.lara@gmail.com

Редакційна підготовка до друку Демченко Л. В.

Технічний секретар редакційної колегії Фесай О. П.

Редактор-перекладач англійського тексту Задвернюк Г. П.

Комп'ютерна верстка Демченко Л. В.

Дизайн обкладинки Тугучов О. В.

Editorial Board

Editor-in-Chief R. BELEVTSSEV

Cor. Member NASU, D.Sc. (Geol.-Min.)

Deputies Editor-in-Chief:

G. BONDARENKO D.Sc. (Geol.-Min.)

V. VERHOVTSEV D.Sc. (Geol.)

Members of editorial board:

B. Gorlitskyi D.Sc. (Geol.-Min.)

M. Divizinyuk D.Sc. (Phys.-Mat.)

V. Dolin D.Sc. (Geol.)

Yu. Zabulonov. Cor. Member NASU, D.Sc. (Tech.),

V. Kovach Ph.D (Tech.),

G. Lisichenko Cor. Member NASU, D.Sc. (Tech.),

Yu.Ol'khovyk. Ph.D (Geol.-Min.)

K. Suschuk Ph.D. (Geol.-Min.)

S. Chumachenko D.Sc. (Tech.),

B. Shabalin D.Sc. (Geol.-Min.)

I. Shramenko Ph.D. (Geol.-Min.)

M. Yaroschuk D.Sc. (Geol.-Min.)

A. Yatsyshyn D.Sc. (Tech.),

Responsible secretaries:

L. Demchenko Ph.D (Phys.-Mat.)

G. Zadvernyuk Ph.D. (Geol.-Min.)

Scientific editors: R. Belevtsev, G. Lisichenko
G. Bondarenko

Editorship Addresses

Ukraine, MCP 03680, Kyiv-142, Palladin av. 34-A
(38-044) 423-81-35;

e-mail: igns@i.com.ua ; demchenko.lara@gmail.com

Editorial preparation is to printing of L. Demchenko

Technical secretary of editorial college O. Fesay .

Editor-translator of English text G. Zadvernyuk

Computer make-up of L. Demchenko

Cover design O. Tuguchov

Збірник заснований у вересні 2000 року. Виходить 1-2 рази на рік.

Свідцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації серія КВ №19790-9090 ПР від 27. 07. 2012 р
Збірник представлений в інтернет-джерелах наукової періодики на сайті Національної бібліотеки ім. В.І. Вернадського і наукометричній електронній базі даних РІНЦ як фахове видання в галузі геологічних і технічних наук

Друкується за постановою Вченої Ради ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України»

Підписано до друку 27 грудня 2016 року

З М І С Т

Шабалін Б. Г., Бугера С. П., Закритний Є. Є. ГЛИБОКА ПЕРЕРОБКА ВІДПРАЦЬОВАНОГО ЯДЕРНОГО ПАЛИВА ЯК КЛЮЧОВИЙ КРОК ДО СТАЛОГО РОЗВИТКУ АТОМНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ.....	5
Ольховик Ю. А. ЛОКАЛИЗАЦИЯ ТОПЛИВОСОДЕРЖАЩИХ МАСС ОБЪЕКТА «УКРЫТИЕ» В БОРОСИЛИКАТНЫХ СТЕКЛАХ.....	17
Данилов С. В., Забулонов Ю. Л., Кадошніков В. М., Одукалець Л. А. ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОЧИЩЕННЯ ШАХТНИХ ВОД НА ПРИКЛАДІ ІНГУЛЬСЬКОЇ ШАХТИ ДП «СХІД ГЗК».....	27
Карабин В. В., Рак Ю. М. ХІМІЧНИЙ СКЛАД АТМОСФЕРНИХ ОПАДІВ В ОКОЛИЦЯХ м. БОРИСЛАВА.....	41
Пизинцали Л. В., Шахов А. В. ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МЕНЕДЖМЕНТ ПРЕДПРИЯТИЙ ПО УТИЛИЗАЦИИ МОРСКИХ СУДОВ.....	50
Мещеряков С. В., Долін В. В. КІНЕТИКА ВИЛУГОВУВАННЯ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ ЗІ ШЛАМУ МЕТАЛУРГІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА.....	60
Розко А. Н., Федоренко Ю. Г., Павлышин Г. П. ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЦЕМЕНТА В БЕНТОНИТ-ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТАХ.....	72
Кузьмин А. В., Ярошук М. А. ГЕНЕТИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ТОРИЕВОГО ОРУДЕНЕНИЯ В ДОКЕМБРИЙСКИХ ОБРАЗОВАНИЯХ УКРАИНСКОГО ЩИТА.....	79
Сушук К. Г. ЗАКОНОМІРНОСТІ ФОРМУВАННЯ ЕПОХ УРАНОНАКОПИЧЕННЯ В ОСАДОВОМУ ЧОХЛІ УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА.....	97
Осьмачко Л. С. ЕТАПИ ФОРМУВАННЯ СЕРЕДНЬОПРИДНІПРОВСЬКОЇ ЧАСТИНИ УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА ТА ЇХ РОЛЬ В СТРУКТУРНОМУ КОНТРОЛІ РУДОПЕРСПЕКТИВНИХ ДІЛЯНОК.....	107
Ярошук М. А., Мусич Е. Г. ПРИРОДА УГЛЕРОДА РАННЕДОКЕМБРИЙСКИХ ГРАФИТОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УКРАИНСКОГО ЩИТА.....	120
Осьмачко Л. С., Студзінська А. О., Уварова Т. В. ПРО СТРУКТУРНУ ПОЗИЦІЮ РУДНИХ ПОКЛАДІВ ІНГУЛЬСЬКОГО МЕГАБЛОКУ УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА....	129
Заборовская Л. П., Фомин Ю. А., Покалюк В. В., Сливинский В.М. МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЗОЛОТОГО ОРУДЕНЕНИЯ ЮРЬЕВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (УКРАИНСКИЙ ЩИТ, ИНГУЛЬСКИЙ МЕГАБЛОК).....	141
Верховцев В. Г., Юськів Ю. В., Краснов Є. Б. НОВІТНЯ ТЕКТОНІКА ТЕРИТОРІЇ ДІБРОВСЬКОГО УРАН-ТОРІЙ-РІДКІСНОЗЕМЕЛЬНОГО РОДОВИЩА.....	156
Крамар О. О., Краснов Є. Б., Тищенко О. Ю., Тищенко Ю. Є. ОЦІНКА ПОТЕНЦІЙНОГО ВПЛИВУ ПІДЗЕМНИХ ВОД НА РАДІОЕКОЛОГІЧНУ СИТУАЦІЮ ПРИ РОЗРОБЦІ БІЛАНІВСЬКОГО ЗАЛІЗОРУДНОГО РОДОВИЩА.....	164
ІНФОРМАЦІЯ ДЛЯ АВТОРІВ.....	173

CONTENTS

B. Shabalin, S. Bugera, E. Zakrytniy DEEP REPROCESSING OF SPENT NUCLEAR FUEL AS A KEY STEP FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF NUCLEAR ENERGY.....	5
Yu. Ol'khovyk LOCALIZATION OF «SHELTER» LAVA FUEL-CONTAINING MASSES IN BOROSILICATE GLASSES.....	17
Yu. Zabulonov, S. Danilov, L. Odukalets, V. Kadoshnikov IMPROVING THE EFFICIENCY OF MINE WATERS CLEANING BY EXAMPLE OF THE INGULSKAYA MINE OF SE «EAST GOK».....	27
V. Karabyn, Yu. Rak CHEMICAL COMPOSITION OF PRECIPITATION IN BORYSLAV AREA.....	41
L. Pizintsali, A. Shakhov ENVIRONMENTAL MANAGEMENT ENTERPRISES FOR RECYCLING FACILITY OF MARINE VESSELS.....	50
S. Meshcheriakov, V. Dolin KINETIC OF HEAVY METALS LEACHING FROM SLUDGE OF METALLURGICAL PRODUCTION.....	60
A. Rozko, Y. Fedorenko, G. Pavlyshyn SPECIFIC USE OF CEMENT IN BENTONITE-POLYMER COMPOSITES	72
A. Kuz'min, M. Yaroshchuk GENETIC CLASSIFICATION OF THORIUM MINERALIZATION IN THE FORMATIONS OF UKRAINIAN SHIELD...	79
E. Sushchuk REGULARITIES OF URANIUM ACCUMULATION EPOCHS IN SEDIMENTARY COVER OF UKRAINIAN SHIELD..	97
L. Os'machko THE STAGES OF FORMATION OF SREDNEPRIDNEPROVSKYA PART OF UKRAINIAN SHIELD AND THEIR ROLE IN STRUCTURAL CONTROL OF THE ORE-PERSPECTIVES PLOTS.....	107
M. Yaroshchuk, O. Musych NATURE OF CARBON OF EARLY DOCAMBREY GRAPHITE DEPOSITS OF UKRAINIAN SHIELD.....	120
L. Os'machko, A. Studzinska, T. Uvarova ABOUT THE STRUCTURAL POSITION OF ORE DEPOSITS OF THE INGUL MEGABLOCK OF UKRAINIAN SHIELD.....	129
L. Zaborovskaya, Yu. Fomin, V. Pokalyuk, V. Slivinskiy MINERALOGICAL AND GEOCHEMICAL FEATURES OF YURIEVSKOE GOLD DEPOSIT (THE UKRAINIAN SHIELD, INGUL MEGABLOCK).....	141
V. Verkhovtsev, Yu. Yuskiv, E. Krasnov NEOTECTONICS OF THE TERRITORY OF DIBROVSKE URANIUM-RARE EARTH-THORIUM DEPOSIT.....	156
O. Kramar, E. Krasnov, O. Tyshchenko, Yu. Tyshchenko ASSESSMENT OF POTENTIAL IMPACT OF UNDERGROUND WATERS ON RADIOLOGICAL SITUATION UNDER EXPLOITATION OF BILANOVSKOE IRON-ORE DEPOSIT.....	164
INFORMATION FOR AUTHORS.....	173

УДК 621.039.74

ГЛИБОКА ПЕРЕРОБКА ВІДПРАЦЬОВАНОГО ЯДЕРНОГО ПАЛИВА ЯК КЛЮЧОВИЙ КРОК ДО СТАЛОГО РОЗВИТКУ АТОМНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

Шабалін Б. Г., Бугера С. П., Закритний Є. Є.

Шабалін Б. Г. докт. г.-мін. н., зав. від. ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України» igns@i.com.ua; b_shabalin@ukr.net

Бугера С. П. м. н. с. ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України»

Закритний Є. Є. м. н. с. ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України»

В статті розглянуто можливі послідовні кроки, з точки зору розвитку ядерного паливного циклу, які дозволять досягти у майбутньому сталого розвитку атомної енергетики. Виділений і перероблений плутоній з відпрацьованого ядерного палива (ВЯП) легководних реакторів може ще один раз повторно використаний у МОХ-паливі для легководних реакторів. Разом з утилізацією переробленого урану це вже на сьогодні дозволить зберегти приблизно 17 % природного ресурсу урану і обмежитись кінцевими ядерними відходами, що практично не містять U і Pu, в стійкій формі. Наступна мульти-переробка плутонію вимагає введення в експлуатацію швидких реакторів для ефективного використання U-238, який доступний у природному і збідненому стані з утилізованих уранових запасів. Паралельно мають бути розроблені або удосконалені процеси переробки і утилізації UOX-палива ВЯП легководних реакторів і МОХ-палива. У довгостроковій перспективі виділення молодших актинідів і довгоіснуючих продуктів поділу у процесі переробки ВЯП дозволить значно підвищити ефективність використання природного ресурсу (а згодом можливо і відмовитись) і зменшити негативний вплив ядерних відходів на майбутні покоління завдяки зниженню залишкового тепловиділення і радіотоксичності, що дозволить збільшити щільність розміщення ядерних відходів у сховищі і час та ефективність його експлуатації. Покрокова реалізація таких різних процесів визначає шлях до стійкого розвитку атомної енергетики.

Ключові слова: ядерно-паливний цикл, відпрацьоване ядерне паливо, переробка, вилучення α -вмісних радіонуклідів, радіотоксичність

Вступ

За останні роки у багатьох країнах світу спостерігається зріст атомної енергетики у галузі енергозабезпечення. На сьогодні вона забезпечує близько 15 % потреб людства в електроенергії [9]. У середньому, виробництво електроенергії на атомних станціях, за прогностичними оцінками Міжнародної агенції з атомної енергії, буде зростати до 2030 р. приблизно на 2,5 % щорічно.

Важливими принциповими перевагами урану порівняно з іншими видами енергетичних ресурсів, що використовуються для виробництва електроенергії у значних об'ємах, є:

– надзвичайно висока концентрація енергії: 1 кг U за кількістю виробленої енергії еквівалентний приблизно 20 тис. кг вугілля (відповідно у 20 тис. разів менше навантаження на транспорт, сховища, значно менші об'єми відходів), а енергетичний еквівалент 1 г Pu відповідає 1 т нафти;

– мінімальні викиди в атмосферу: 2-6 г діоксиду карбону на кВт × рік. електроенергії, що на два порядки нижче, ніж під час використання вугілля, нафти і навіть природного газу;

– мінімальний шкідливий вплив на здоров'я людини: смертність при роботі АЕС майже у 300 разів нижче порівняно з теплоелектростанціями, що працюють на вугіллі.

Ці фактори обумовлюють переваги АЕС як джерел електроенергії у майбутньому.

Для ядерних джерел енергії характерна компактна форма відходів і технічно обґрунтована можливість їх концентрації та локалізації. Сумарний об'єм РАВ відрізняється від об'єму відходів при спалюванні органічного палива у десятки тисяч разів, а від об'єму токсичних промислових відходів більш ніж на два порядки [5]. Разом з тим, існує потенційна екологічна небезпека для людини і навколишнього природного середовища при використанні ядерної енергії, що пов'язана у першу чергу поводженням з ВЯП і РАВ. Під час роботи ядерних реакторів змінюється баланс радіоактивних речовин за рахунок перетворення радіоактивних ядер, що мають природну радіоактивність, і утворення нових техногенних радіонуклідів. Це визначає вимогу екологічної прийнятності ядерно-паливного циклу (ЯПЦ).

Одним з основних аргументів конкурентоспроможності атомної енергетики є практична необмеженість паливних ресурсів, що обумовлена можливістю відтворення нового ядерного палива (радiонуклідів Pu і U). За цих умов економічно прийнятні запаси U можуть забезпечити паливом ядерну енергетику з використанням нинішніх типів реакторів (в основному водо-водяних) приблизно на 60-80 років, а перспективних (наприклад, реакторів-розмножувачів на швидких нейтронах (брідерів) із „замкнутим” ЯПЦ) перевищило би час використання цих ресурсів у 60-100 разів [8].

Виходячи з цього, паливна база атомної енергетики має бути заснована на відтворенні і повторному використанні подільних ядерних матеріалів, в першу чергу U і Pu у швидких реакторах, і тому переробка ВЯП є обов'язковою умовою її майбутнього. Метою удосконалення існуючих і розробки нових перспективних технологій ЯПЦ є скорочення об'ємів і радіотоксичності відходів, підвищення безпеки та рентабельності, а також забезпечення режиму нерозповсюдження ядерних матеріалів. Ці моменти, які визначають сталий розвиток атомної енергетики, є ключовими факторами і критеріями для вибору найбільш перспективних технологій майбутнього. Майбутня атомна енергетика має створюватись саме за такою перспективою. Метою роботи є окреслення послідовних кроків щодо глибокої переробки відпрацьованого ядерного палива, яка може стати ключовою метою для підвищення сталого розвитку атомної енергетики зі збереженням ресурсів природного урану і соціального сприйняття.

Результати та їх обговорення

Одиночний ядерно-паливний цикл

Сучасні ЯПЦ такі як одиночний («відкритий» ЯПЦ) цикл, у якому ВЯП розглядається у якості відходів, так і подвійний («замкнутий» ЯПЦ) цикл, коли переробляють ВЯП з виділенням U, Pu (реконверсія, репроцес) і виготовленням МОХ-палива, не відповідають критеріям стійкого розвитку атомної енергетики, оскільки обидва паливних цикли, насамперед, не в повній мері зберігають природні ресурси урану для майбутніх поколінь.

Після опромінення в реакторі ВЯП все ще містить приблизно 96 % урану і плутонію (рис. 1), які є потенційно цінним матеріалом для виробництва електроенергії, і мають бути перероблені з метою стійкого розвитку атомної енергетики.

З рис. 1 видно, що ядерне паливо після опромінення містить значну кількість енергетичного матеріалу, цінного урану і плутонію. Це означає, що загальна кількість урану

у паливо видільних збірках (ПВЗ) для виробництва електроенергії набагато більша, ніж та кількість, яка нині використовується у реакторах під час ділення або захоплення нейтронів в одиночному циклі. Це визначає ефективність споживання природних енергетичних ресурсів урану.

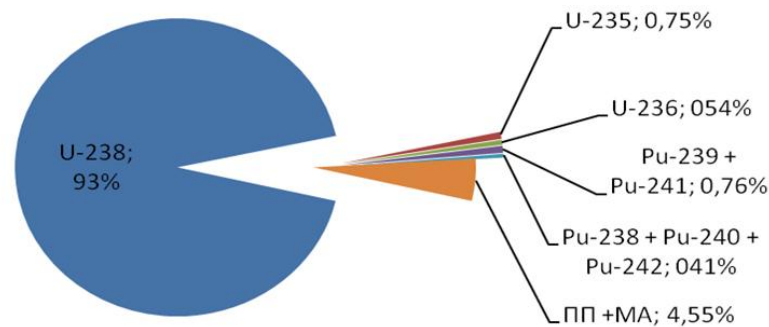


Рис. 1. Відносний відсотковий склад уранового оксидного палива (UOX) після 4 років опромінення (47,5 ГВт/т) в реакторах PWR [11]. Відносний склад для реакторів ВВЕР (аналог реактору PWR) відрізняється несуттєво [4].

На даний час ця цифра менша, ніж 1% (у реакторах на теплових нейтронах коефіцієнт відтворення K_v не перевищує 0,5–0,8). Наприклад, в такій країні, як Франція, з 8000 т природного урану тільки 1100 т використовується для виготовлення UOX-палива (через збагачення), з яких тільки 60–70 т ефективно перетворюються в продукти поділу (ПП) і молодші актиніди (МА) [11]. Тобто, більш ніж 99 % від початкової кількості природного урану буде віднесено до відходів, що є неефективним способом використання такого природного ресурсу.

На користь «замкнутого» ЯПЦ схиляють труднощі «відкритого» паливного циклу, а саме – ненадійність прогнозування безпеки зберігання/захоронення ВЯП на сотні і сотні тисяч років, відсутність даних щодо тривалої стійкості конструкційних матеріалів, необхідність великої кількості витратних матеріалів для захоронення ВЯП, відсутність однозначних методів розрахунку для підтвердження безпеки захоронення, необхідність спеціальних геологорозвідувальних робіт великого обсягу, неможливість дотримання принципу радіаційно-еквівалентного захоронення, значний об'єм високоактивних осклованих відходів (ВОВ) для захоронення та ін. Такий стан вказує на необхідність продовження досліджень з метою вибору найбільш ефективного підходу до переробки ВЯП.

Моно-рециклювання плутонію і урану з ВЯП легководних реакторів для виготовлення МОХ-палива (подвійний цикл)

Для отримання можливості використання залишкової енергії, що міститься у ВЯП, деякі країни обрали варіант переробки ВЯП, де з ВЯП уран і плутоній відокремлюються від ПП і МА. Виділення плутонію з ВЯП теоретично може призвести до зниження тривалої радіотоксичності на одиницю виробленої енергії приблизно у 10 разів. Цей варіант паливного циклу має значну перевагу в плані сталого розвитку для країн, що володіють незначними енергетичними ресурсами. Наприклад, в Японії немає власних запасів нафти, газу і вугілля, а також не прокладено трубопроводи нафти і газу. Відповідно, ця країна розробляє стратегію, що включає використання МОХ-палива у легководних реакторах і реакторах-розмножувачах (брідерах) на швидких нейтронах (ФВ) [10].

На даний час Бельгія, Франція, Німеччина, Швейцарія і Японія експлуатують як PWR, так і BWR з активними зонами, що містять до 30 % ТВЗ з МОХ-паливом (у вдосконалих проектах LWR допускається комплектація активних зон з 50 % завантаженням МОХ-палива у ТВЗ) [6]. При одноразовому рециркуванні плутонію для подальшого його використання в МОХ-паливі реакторів PWR сумарна радіотоксичність плутонію в ОТВЗ з МОХ-паливом буде практично в три рази менше, ніж в еквівалентній по енерговиробленню кількості UOX-палива. Існуючий варіант ЯПЦ з переробкою палива значно зменшує загальну кількість ядерних відходів, що підлягають подальшому захороненню, порівняно з «відкритим» ЯПЦ. З однієї тонни ВЯП, що переробляється, утворюється тільки 0,1-0,12 м³ осклованих ВАВ [6] (у РФ - 0,6-0,65 м³/т [7]), які необхідно розміщувати у глибинному геологічному сховищі. А у випадку прямого захоронення ВЯП, в результаті кондиціонування, об'єм 1 т ВЯП складає 1,5 м³ [6].

Перший крок у напрямку переробки ВЯП легководних реакторів був реалізований впродовж десятиліть у Франції шляхом розробки і запровадження у промислових масштабах одноразового рециркування Pu і U з реакторів PWR на заводах AREVA в Ла Нагує (заводи UP2-UP3) для виготовлення МОХ-палива (рис. 2). У Франції як відновлювальні процеси, так і рівні очищення дуже високі (до 99,9% виділеного урану і плутонію з роздільним фактором 10⁶ і більше). На заключному етапі переробки, включаючи осадження проміжного оксалату (Pu) або пероксиду (U), виробляються порошки оксидів, що відповідають специфікації процесу виготовлення МОХ-палива.

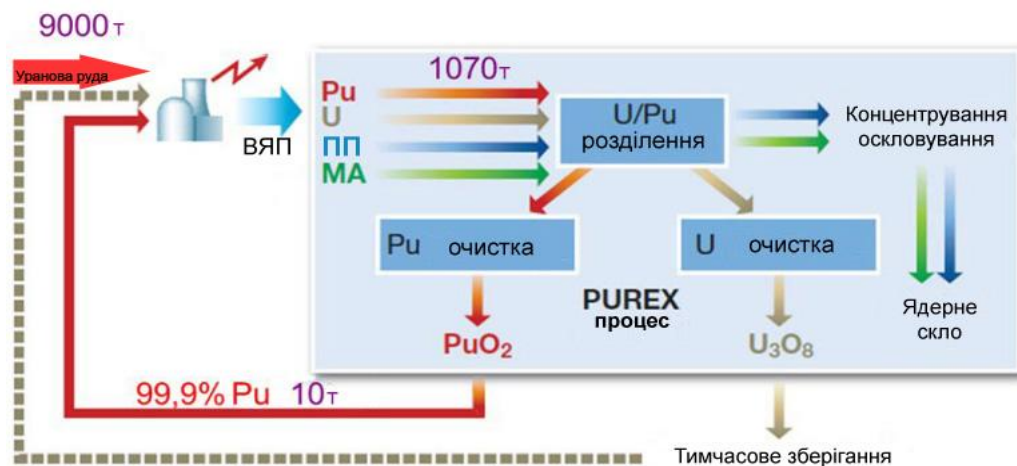


Рис. 2. Схема подвійного паливного циклу з використанням сепарації U, Pu, молодших актинідів і продуктів поділу (Франція) (адаптовано з [13]).

Технологія переробки ВЯП ВВЕР-440 у РФ базується на екстракційному процесі (PUREX-процес). Цей процес включає розчинення ВЯП і відділення плутонію та урану від залишкових продуктів поділу і актинідів для подальшого повторного використання плутонію та урану. У технології використовується екстракція урану та плутонію трибутилфосфатом (ТБФ) з азотнокислого розчину ВЯП, у процесі якої вилучаються 98-99 відсотків урану та плутонію, що міститься у ВЯП. Загальна схема екстракційного пурекс-процесу з декількома циклами очищення урану та плутонію від продуктів поділу показана на рис. 3.

Очищення і переробка ВЯП (PUREX-процес) сьогодні – це ефективна, безпечна, чиста і економічно вигідна технологія. Вона вимагає спочатку розчинення ВЯП для виділення ядерних матеріалів (урану і плутонію), потім їх розділення, отримання осклованих ядерних відходів, які в основному містять ПП і МА.

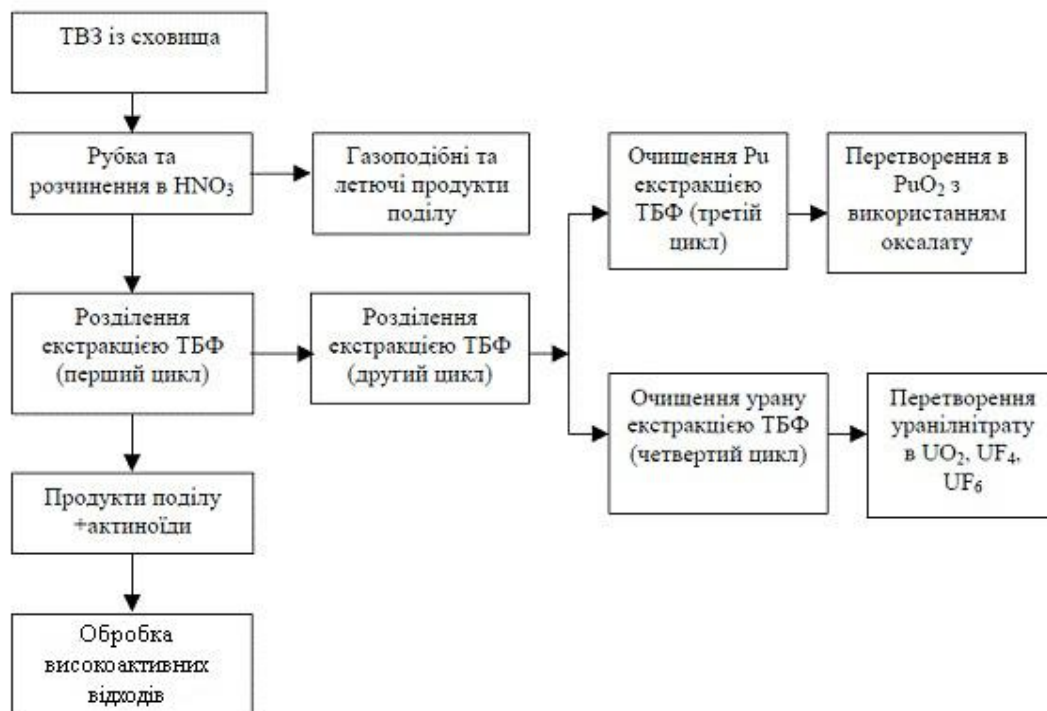


Рис. 3. Загальна схема екстракційного PUREX-процесу на заводі РТ-1 (Челябінськ-65, Маяк РФ), адаптовано з роботи [7]

У порівнянні з одиничним «відкритим» циклом, моно-переробка Pu для виготовлення МОХ-палива – це значний крок до підвищення сталого розвитку атомної енергетики завдяки:

- підвищенню ефективності використання природних уранових ресурсів на 17 % через ділення $^{239} + ^{241}\text{Pu}$ в МОХ-паливі замість одного ^{235}U в УОХ-паливі;
- заощадженню відповідних енергетичних витрат на збагачення, які досить значні, зокрема, при використанні газоподібного дифузійного процесу першого покоління;
- суттєвому зниженню об'ємів і довгострокової радіотоксичності кінцевих ядерних відходів за рахунок утилізації плутонію, який більше не відноситься до відходів;
- можливості ефективного кондиціонування кінцевих ядерних відходів, тобто ПП і МА, які упаковані в спеціальне боросилікатне ядерне скло.

Моно-переробка з вилученням Pu вже дозволяє знизити потенційну небезпеку ядерних відходів від декількох сотень тисяч до декількох десятків тисяч років (рис. 4). Це означає також, що робиться суттєвий внесок у зменшення обсягів сховищ Pu і осклованих ВАВ і обмежується ризик розповсюдження ядерних матеріалів.

Мульти-переробка плутонію і вилучення молодших актинідів з МОХ-палива реакторів на швидких нейтронах

Підвищення ефективності подальшого споживання ресурсів природного урану вимагає ефективного його використання. Оскільки U-238 радіонуклід, що не ділиться, єдиним виходом є його перетворення в результаті захоплення нейтрона з метою отримання Pu-239, який, в свою чергу, ділиться і виділяється мульти-переробкою. У порівнянні з

тепловим спектром нейтронів, спектр швидких нейтронів збільшує відносне захоплення нейтронів U-238, утворюючи ізомери плутонію, які всі можуть розщеплятися в реакторах на швидких нейтронах.

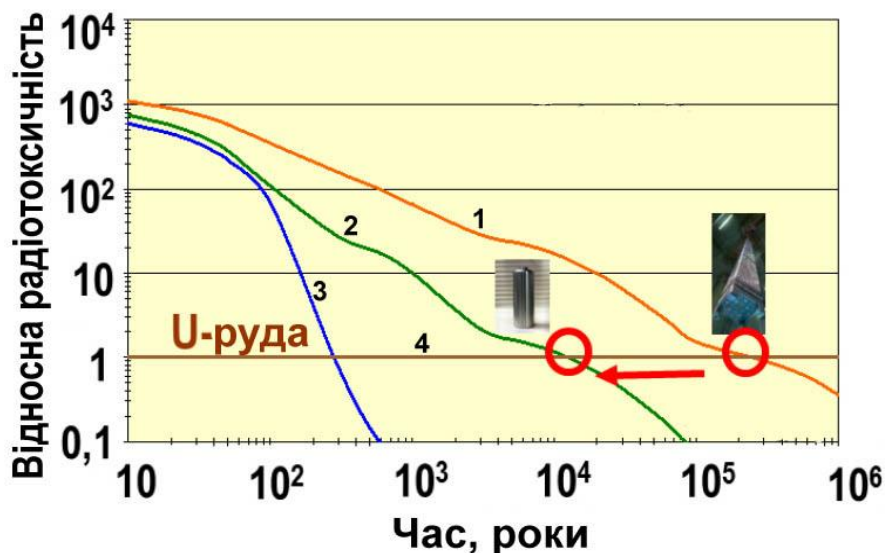


Рис. 4. Динаміка радіотоксичності відпрацьованого ядерного палива (1), осклованих ядерних відходів (2) та середньо активних відходів з довгоіснуючими радіонуклідами (3) по відношенню до радіотоксичності багатой руди природного урану (4).

Отже в реакторах на швидких нейтронах потенційно може використовуватись більш ніж 80 % природного ресурсу урану замість 0,6-0,7%, як у сьогодиньшому одиночному циклі із використанням легководних реакторів. Це являє собою ще один крок до сталого розвитку атомної енергетики, завдяки якому значно зменшиться кількість споживання природних ресурсів урану, оскільки можна було б використовувати існуючі запаси збідненого урану. Мульти-переробка МОХ-палива швидких реакторів у промисловому масштабі була продемонстрована у Франції, де 25 т важких металів відпрацьованого МОХ-палива вже було перероблено протягом 1980-90-х років.

Наявність америцію і кюрію є основним фактором, що впливає на довгострокове тепловиділення відходів [1]. Тому переробка ВЯП з виділенням Am і Cm дозволить значно зменшити тепловиділення відходів, яке є основним параметром для визначення щільності розташування відходів у сховищі. Вміщуюча порода глибинного сховища повинна знаходитись при певній пороговій температурі для того, щоб не відбувалось структурної трансформації і зміни властивостей породи протягом довготривалого часу. Зниження тепловиділення дозволить проектувати сховище з більшим ущільненням розташування ядерних відходів. Розрахунки і дизайн, виконані на основі французького сховища, показали, що щільність сховища збільшується на один порядок. Це також дозволить значно збільшити час і ефективність експлуатації сховища.

Переробка америцію потребує розробки процесу його відокремлення від інших актинідів і лантанідів. На підставі тривалого досвіду, напрацьованого у Франції, у 2008 р. було розроблено нову схему розділення, за якої вибірково відокремлюють Am від легких лантанідів (EXAm process) (рис. 5).

Цей процес був ефективно продемонстрований на основі експерименту, виконаного в Atalante (США) на кількох кілограмах ВЯП: 98,5% Am було відокремлено від Cm при факторі розділення - 500.

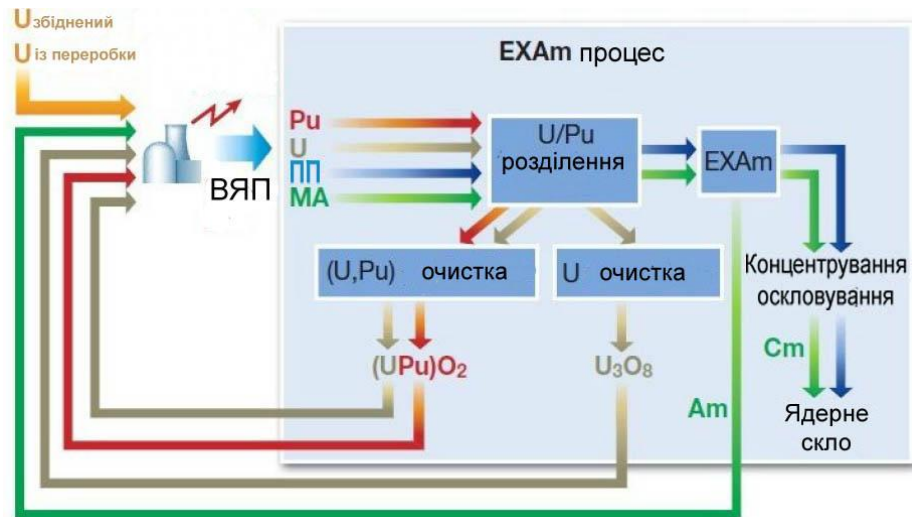


Рис. 5. Схема різних потоків актинідів в паливному циклі, у якому будуть здійснюватися процеси розділення радіонуклідів (адаптовано з [12]).

Аналогічні дослідження (лабораторні) проводяться у РФ [6] і пов'язуються у майбутньому із введенням в експлуатацію заводу РТ-2 (Красноярськ), принципова технологічна схема регенерації ВЯП реакторів ВВЕР-1000 якого наведена на рис. 6 (TRUEX-процес).

Соціологічні опитування, проведені в багатьох країнах, свідчать про те, що основними причинами, за яких люди бояться або навіть відхиляють атомну енергетику, є небезпека і значні аварії, що призводять до забруднення оточуючого середовища і впливають на здоров'я людини, а також ядерні відходи, які сприймаються як причини сильного забруднення у майбутньому. Безпека, підвищення надійності функціонування об'єктів і процесів, поглиблене розуміння фізичних і хімічних процесів на всіх етапах ЯПЦ є ключовими моментами.



Рис. 6. Принципова технологічна схема регенерації ВЯП реакторів ВВЕР-1000 на заводі РТ-2 (Росія).

Безпека є обов'язковим питанням дослідження, яка має дотримуватись за будь-якого розвитку ЯПЦ. Що стосується поводження з ядерними відходами, то однією з головних

причин їх поганого сприйняття громадськістю є досить довгостроковий період напіврозпаду деяких радіонуклідів, які присутні у ядерних відходах. Протягом довготривалого поведіння з відходами (10^6 років) відбуваються процеси, незрозумілі для більшості людей, оскільки вони виходять за рамки історії людства.

Таким чином, будь-який процес, який дозволить знизити час небезпечного впливу від захоронених відходів може схилити громадськість до позитивного сприйняття розвитку ядерної енергетики. Основним вкладом до зменшення довгострокової токсичності відходів є той факт, що плутоній, який вже вилучається з ВЯП, практично відсутній у відходах, а МА (америчій і кюрій), вилучення яких планується, домінують у довгостроковій (> 300 років) радіотоксичності (рис. 7).

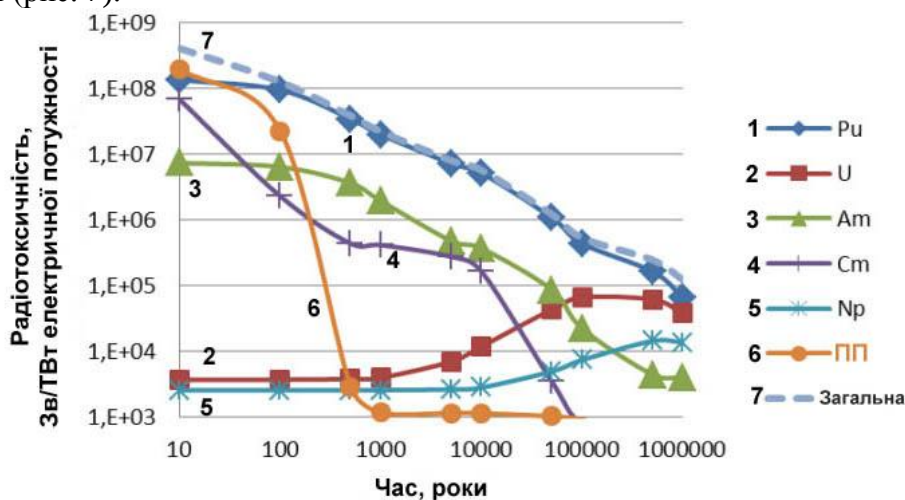


Рис. 7. Радіотоксичність відпрацьованого ядерного палива (Зв/ТВт електричної потужності) як функція часу із внеском різних радіонуклідів (адаптовано з [13]).

Переробка цих радіонуклідів і перетворення їх у подальшому в радіонукліди з меншим часом розпаду за допомогою трансмутації суттєво зменшить об'єми і строк ізоляції ядерних відходів з реальним використанням принципу їх радіаційно-еквівалентного захоронення [2] та поліпшить громадське сприйняття розвитку атомної енергетики.

Висновки

Підвищення сталого розвитку атомної енергетики вимагає підвищення її економічної ефективності, «екологічності» і громадського визнання. У цьому контексті, глибока переробка ВЯП з вилученням актинідів є наріжним каменем стійкого розвитку будь-якого ЯПЦ, оскільки вона дозволяє використовувати ядерне паливо значно більш ефективно і зберігати природні ресурси урану для майбутніх поколінь. Вона також поліпшує загальний вплив на навколишнє природне середовище і це може допомогти збільшити громадське визнання атомної енергетики за рахунок зменшення об'ємів ядерних відходів, терміну небезпеки і токсичності відходів, підвищення ефективності використання сховищ ядерних відходів.

Тим не менш, переробка ВЯП з вилученням актинідів є довготерміновим шляхом, який вимагає поетапного підходу для того, щоб прогресивне промислове впровадження зменшило будь-який ризик. Для цього необхідно:

- перш за все, оптимізувати потреби природного ресурсу для зберігання його для майбутніх поколінь і, таким чином, гарантувати енергетичну незалежність (уранова руда в ідеалі взагалі непотрібна). На сьогодні подвійний цикл з вилученням U і Pu

реалізується у Франції, Великій Британії, Японії і найближчим часом буде запроваджений у Китаї і РФ. Цей перший крок у цьому напрямку вже дозволяє проводити розробку і оптимізацію відповідних процесів промислової утилізації Pu і U. Це також дозволяє значно поліпшити кондиціонування кінцевих відходів у стабільну і надійно адаптовану матрицю, тобто ядерне скло або мінеральні матриці.

- по-друге, одночасно впровадити швидкі реактори з мульти-переробкою плутонію, що стане важливим кроком на шляху до більш ефективного використання природних ресурсів урану і значного поліпшення екологічного навантаження, пов'язаним зі скороченням уранової гірничовидобувної діяльності.
- по-третє, переробка ВЯП з видаленням америцію, яка є можливою із застосуванням швидких реакторів, призведе до зниження залишкового енерговиділення кінцевих відходів і дозволить проектування значно більш щільних сховищ РАВ (каністри для відходів можна розміщувати щільніше одну від одної), заощаджуючи, таким чином, дефіцитний ресурс сховища. Це буде означати зменшення навантаження на майбутні покоління і дозволить створити єдині спрощені сховища для розміщення відходів, що будуть утворені за кілька століть експлуатації ядерних реакторів.
- кінцевим варіантом для майбутнього сталого розвитку атомної енергетики, який призвів би до значного зменшення довгострокової радіотоксичності відходів, має стати вилучення всіх молодших актинідів. Це допомогло би вирішити проблеми поводження з відходами і сприяти розумінню громадою перспектив розвитку атомної енергетики.

Чіткий план загального поетапного підходу щодо поводження з ВЯП в частині сировинного ресурсу і відходів підприємств атомної енергетики визначає шлях стійкого розвитку, який дозволить досить ефективно використовувати природні ресурси урану і їхнє збереження для майбутніх поколінь, зменшити об'єми і радіотоксичність відходів, які підлягають утилізації з більшим ущільненням у сховищах РАВ, порівняно з сьогоднішнім. Тому вилучення актинідів з ВЯП, разом з впровадженням в експлуатацію реакторів на швидких нейтронах, є одним з основних завдань для розробки майбутніх стабільних ЯПЦ.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бергельсон Б.Р. Радиотоксичность и остаточное энергосодержание актиноидов и продуктов деления отработавшего ядерного топлива ВВЭР при длительном хранении отработавшего топлива ВВЭР с повышенным выгоранием / Бергельсон Б.Р., Герасимов А.С., Зарицкая Т.С. [и др.] // Атомная энергия. – 2007. – Т. 102. – Вып. 5. – С. 292–296.
2. Давиденко В.Д. Возможность радиационно-эквивалентного захоронения отходов при переработке / Давиденко В.Д., Пономарев-Степной Н.Н., Цибульский В.Ф. // Атомная энергия. – 2014. – т.116. – в. №1. – С. 55-56.
3. Исаев А.Н. Проблемы обращения с отработавшим топливом / Исаев А.Н. // Атомная техника за рубежом. – 2008. – № 4. – С. 14–19.
4. Кузнецов В.М. Ядерная опасность. Основные проблемы и современное состояние безопасности предприятий ядерного топливного цикла Российской Федерации / Кузнецов В.М. – [2-е изд.]. – М.: ЭПИцентр, 2003. – 462 с.
5. Россман Г.И. Хранение и захоронение радиоактивных отходов (системный обзор) / Россман Г.И., Быховский Л.З., Самсонов Б.Г. – М.: ВИМС, 2004. – 240 с.
6. Соколова И.Д. Усовершенствованные, перспективные и альтернативные технологии ядерного топливного цикла / Соколова И.Д., Шульга Н.А. // Атомная техника за рубежом. – 2004. – № 10. – С. 3–15.

7. СОУ-Н ЯЭК 1.027:2010. Методика расчета количества высокоактивных отходов, возвращаемых Украине после технологического хранения и переработки партии ОТВС ВВЭР-440: Отраслевой стандарт Минэнергоугля Украины.
8. Уотс Дж. Стратегические аргументы в пользу ядерной энергетики, основанные на необходимости сохранения окружающей среды / Уотс Дж. // Атомная техника за рубежом. – 1995. – № 11. – С. 27–32.
9. Ядерная энергетика. Обращение с отработанным ядерным топливом и радиоактивными отходами. / [Ажажа В.М., Белоус В.А., Габелков С.В и др.]; под редакцией И.М. Неклюдова. – К.: Наукова думка, 2006 – 253 с.
10. Ямана Х. Проблемы ядерного топливного цикла / Ямана Х.// Атомная техника за рубежом. – 2007. – №2. – С.17-20.
11. Rahman A. Nuclear waste management in France // Nuclear Energy. – 2001.- v.40.-№6.- P.391-395.
12. Poinssot C. Recycling the actinides, the cornerstone of any sustainable nuclear fuel cycles / Poinssot C., Rostaing C., Grandjean S., Boullis B.// Procedia Chemistry. 2012. – №7. – С.349 - 357
13. Poinssot C. Actinide recycling within the closed fuel cycles / Poinssot C., Boullis B // Nuclear Engineering International, Jan. – 2012. – №12, С. 17-21.

REFERENCES

1. Bergelson B. Radiotoksichnost i ostatochnoe energovydelenie aktinoidov i produktov deleniya otrabotavshego yadernogo topliva VVER pri dlitel'nom hranenii otrabotavshego topliva VVER s povyshennym vyigoraniem [Radiotoxicity and residual heat emission of actinides and VVER spent nuclear fuel fission products during prolonged storage of VVER spent fuel with high burnup] / Bergelson B.R., Gerasimov A.S., Zaritskaya T.S. [i dr.] // Atomnaya energiya. – 2007. – Т. 102. – Вып. 5. – С. 292–296. [in Russian]
2. Davidenko V. Vozmozhnost radiatsionno-ekvivalentnogo zahoroneniya othodov pri pererabotke [The possibility of radiation-equivalent waste disposal during reprocessing]/ Davidenko V.D., Ponomarev-Stepnoy N.N., Tsibulskiy V.F // Atomnaya energiya. – 2014. – Т.116.– v. №1. – С. 55-56. [in Russian]
3. Isaev A. Problemy obrascheniya s otrabotavshim toplivom [Problems of spent fuel treatment] / Isaev A.N. // Atomnaya tekhnika za rubezhom. – 2008. – № 4. – С. 14–19. [in Russian]
4. Kuznetsov V. Yadernaya opasnost. Osnovnyie problemy i sovremennoe sostoyanie bezopasnosti predpriyatiy yadernogo toplivnogo tsikla Rossiyskoy Federatsii [Nuclear danger. Main problems and the current state of the Russian Federation Nuclear fuel cycle enterprises safety] / Kuznetsov V.M. – [2-e izd.]. – М.: ЕPItsentr, 2003. – 462 s. [in Russian]
5. Rossman G. Hranenie i zahoronenie radioaktivnyih othodov (sistemnyi obzor) [Storage and Disposal of Radioactive Waste (systematic review)] / Rossman G.I., Byihovskiy L.Z., Samsonov B.G. – М.: VIMS, 2004. – 240 s. [in Russian]
6. Sokolova I. Uovershenstvovannyye, perspektivnyie i alternativnyie tehnologii yadernogo toplivnogo tsikla [Advanced, perspective and alternative nuclear fuel cycle technologies] / Sokolova I.D., Shulga N.A. // Atomnaya tekhnika za rubezhom. – 2004. – №. 10. – С. 3–15. [in Russian]
7. SOU-N YaEK 1.027:2010. Metodika rascheta kolichestva vyisokoaktivnyih othodov, vozvraschaemyih Ukraine posle tehnologicheskogo hraneniya i pererabotki partii OTVS

- VVER-440: Otrasleyvoy standart Minenergo Ukraini [Methods of calculating of quantity of high-level waste that are returned to Ukraine after technological storage and reprocessing of spent fuel assemblies RTEE VVER-440: Industry standard Minenergougol of Ukraine] [in Russian]
8. Yots Dzh. Strategicheskie argumenty v polzu yadernoy energetiki, osnovannyye na neobkhodimosti sohraneniya okruzhayushey sredy [Strategic arguments for nuclear energy, based on the need to preserve the environment] / Uots Dzh. // Atomnaya tekhnika za rubezhom. – 1995. – № 11. – S. 27–32. [in Russian]
 9. Yadernaya energetika. Obrashchenie s otrabotannym yadernym toplivom i radioaktivnyimi otdodami. [Nuclear power. Treatment of spent nuclear fuel and radioactive waste] / [Azhazha V.M., Belous V.A., Gabelkov S.V i dr.]; pod redaktsiyey I.M. Neklyudova. – K.: Naukova dumka, 2006 – 253 s. [in Russian]
 10. Yamana H. Problemy yadernogo toplivnogo tsikla [Problems of the nuclear fuel cycle] / Yamana H.// Atomnaya tekhnika za rubezhom. – 2007. – №2. – S.17-20. [in Russian]
 11. Rahman A. Nuclear waste management in France // Nuclear Energy. – 2001.- v.40.-№6.- P.391-395.
 12. Poinssot C. Recycling the actinides, the cornerstone of any sustainable nuclear fuel cycles / Poinssot C., Rostaing C., Grandjean S., Boullis B.// Procedia Chemistry. 2012. – №7. – C.349 - 357
 13. Poinssot C. Actinide recycling within the closed fuel cycles / Poinssot C., Boullis B // Nuclear Engineering International, Jan. – 2012. – №12, C. 17-21.

ГЛУБОКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ОТРАБОТАННОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА КАК КЛЮЧЕВОЙ ШАГ К СТАБИЛЬНОМУ РАЗВИТИЮ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Шабалін Б. Г., Бугера С. П., Закритний Є. Є.

Шабалін Б. Г. докт. г. н., зав. отд. ГУ «Інститут геохімії оточуючої середовища НАН України» igns@i.com.ua ; b_shabalin@ukr.net
Бугера С. П. м. н. с. ГУ «Інститут геохімії оточуючої середовища НАН України»
Закритний Є. Є. м. н. с. ГУ «Інститут геохімії оточуючої середовища НАН України»

В статье рассмотрено возможные последовательные шаги, с точки зрения развития ядерного топливного цикла, которые позволят достичь в будущем стабильного развития атомной энергетики. Выделенный и переработанный плутоний из отработанного ядерного топлива (ОЯТ) легководных реакторов может быть повторно использован в МОХ-топливе для легководных реакторов. Вместе с утилизацией переработанного урана это уже на сегодняшний день позволит сохранить приблизительно 17% природного ресурса урана и ограничиться конечными ядерными отходами, которые практически не содержат U и Pu, в стабильной форме. Следующая мульти-переработка плутония требует введения в эксплуатацию быстрых реакторов для эффективного использования U-238, который доступен в природном и обедненном виде из утилизированных ядерных запасов. Параллельно должны быть разработаны или усовершенствованы процессы переработки и утилизации УОХ-топлива ОЯТ легководных реакторов и МОХ-топлива. В долгосрочной перспективе выделение младших актиноидов и долгоживущих продуктов деления в процессе переработки ОЯТ позволит значительно повысить эффективность использования природного ресурса (а впоследствии, возможно и отказаться) и уменьшить негативное влияние ядерных отходов на будущие поколения благодаря снижению остаточного тепловыделения и радиотоксичности, что позволит увеличить плотность ядерных

отходов в хранилище и время его эксплуатации. Пошаговая реализация таких разных процессов определяет путь к устойчивому развитию ядерной энергетики.

Ключевые слова: *ядерно-топливный цикл, отработанное ядерное топливо, переработка, извлечение α -содержащих радионуклидов, радиотоксичность*

DEEP REPROCESSING OF SPENT NUCLEAR FUEL AS A KEY STEP FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF NUCLEAR ENERGY

B. Shabalin, S. Bugera, E. Zakrytniy

B. Shabalin, D. Sc (Geol.), Head of the Department, SI «The Institute of Environmental Geochemistry of NAS of Ukraine» b_shabalin@ukr.net, igns@i.com.ua

S. Bugera Junior Researcher, SI «The Institute of Environmental Geochemistry of NAS of Ukraine» igns@i.com.ua

E. Zakrytniy Junior Researcher, SI «The Institute of Environmental Geochemistry of NAS of Ukraine» igns@i.com.ua

The present paper focuses on the possible successive steps, with respect to nuclear fuel cycle improvement, which ensure stable development of the Nuclear Power Industry. Pu extracted from spent nuclear fuel (SNF) from light-water reactors (LWR) may be reused in MOX fuel for LWRs. Along with depleted uranium utilization, this will allow conserving of about 17% of natural uranium stocks using stable ultimate nuclear waste practically free from U and Pu. Further Pu multireprocessing requires fast reactors commissioning for effective use of U-238 available in natural and depleted form in SNF stocks. Processes of reprocessing and recycling of LWR SNF UOX fuel and MOX fuel should be developed and improved as well. In long-term prospect, extraction of minor actinides and long-lived fission products during SNF reprocessing envisages increasing of natural resource utilization efficiency and minimization of hazardous impact of nuclear wastes on the future generations due to reduction of residual heat generation and radiotoxicity which allows increasing of nuclear waste density and operation period of the repository. Step-by-step realization of these processes determines the stable further development of the Nuclear Power Industry.

Key words: *nuclear fuel cycle, spent nuclear fuel, reprocessing, extraction of α -containing radionuclides, radiotoxicity*

УДК 621.039.7

ЛОКАЛИЗАЦИЯ ТОПЛИВОСОДЕРЖАЩИХ МАСС ОБЪЕКТА «УКРЫТИЕ» В БОРОСИЛИКАТНЫХ СТЕКЛАХ

Ольховик Ю. А. кандидат геол.-мин. наук, с.н.с, ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины», volkhovik@ukr.net

*В работе рассмотрена текущая ситуация в объекте «Укрытие», которая характеризуется интенсивными процессами разрушения лавовых топливосодержащих масс вследствие альфа-распада изотопов плутония и минорных актинидов. Выполненный во Франции комплекс исследования свойств боросиликатных стекол, легированных короткоживущим $^{244}\text{PuO}_2$, показал высокую устойчивость этой матрицы к воздействию альфа-распада *in situ*. Вплоть до дозы $1,2 \cdot 10^{19}$ α -расп. $\cdot\text{г}^{-1}$ стекла сохраняют однородность, образования каких-либо новых фаз, микротрещин и газовых пузырьков не отмечено. Рассмотрена возможность преобразования лавовых топливосодержащих масс в боросиликатное стекло, близкое по составу к исследованным стеклам SON68, с использованием индукционного плавления в «холодном» тигле. Накопленная доза в стекле, сформированном на основе лавовых топливосодержащих масс, не превысит $1 \cdot 10^{18}$ α -расп. $\cdot\text{г}^{-1}$ за 100000 лет.*

Ключевые слова: лавовые топливосодержащие массы, захоронение, остекловывание, боросиликатное стекло, самооблучение, альфа-распад

Введение

Ядерную, радиационную и экологическую безопасность объекта «Укрытие» определяют в первую очередь лаваобразные топливосодержащие материалы (ЛТСМ) ввиду того, что они содержат около 90 тонн облученного ядерного топлива, то есть около половины радионуклидов, накопленных в активной зоне энергоблока №4 Чернобыльской АЭС к моменту аварии.

Высокая скорость остывания лав в условиях значительных температурных градиентов и интенсивного газовыделения привели к наличию в матрице ЛТСМ внутренних напряжений, пористости и значительной неоднородности. Вследствие воздействия указанных факторов ЛТСМ представляют собой хрупкое пористое вещество, для которого характерны невысокая механическая прочность, эрозия поверхности (пылеобразование), высокая скорость выщелачивания урана и радиоизотопов цезия, неустойчивость в условиях прямого контакта с водой. Наличие указанных свойств вкупе с высоким содержанием осколочных и трансурановых радионуклидов (табл. 1 и табл. 2) однозначно приводит к выводу о необходимости кондиционирования ЛТСМ для обеспечения безопасности последующего захоронения.

Не исключена возможность внезапного (в течение короткого срока, исчисляемого несколькими неделями) разрушения материала лавы в результате концентрированного самооблучения с появлением пылеватых частиц. До настоящего времени нет единой точки зрения о характере долговременного (≈ 100 лет) поведения лавы.

Целью работы является обоснование технически приемлемого преобразования ЛТСМ в материал, устойчивый к воздействию как природных факторов, так и к излучению

инкорпорированных радионуклидов, и пригодный для безопасного длительного хранения и последующего захоронения в геологическом хранилище.

Таблица 1. Усредненный радионуклидный состав проб лавы из помещений ББ-2 (продукты деления и активации, данные по 15 пробам), пересчет на 26.04.1986 г [1].

Нуклид	^{144}Ce	^{137}Cs	^{134}Cs	^{106}Ru	^{125}Sb	^{154}Eu	^{155}Eu	^{90}Sr
Активность МБк/г	$2,6 \cdot 10^3$	$5,6 \cdot 10$	$3,1 \cdot 10$	$3,7 \cdot 10$	7,5	4,0	4,2	$1,0 \cdot 10^2$

Таблица 2. Усредненный радионуклидный состав проб лавы из помещений ББ-2 (уран и трансурановые элементы), пересчет на 26.04.1986 г [1].

Активность нуклидов, МБк/г					U, %
^{238}Pu	$^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$	^{242}Cm	^{244}Cm	^{241}Am	
$8,4 \cdot 10^{-1}$	1,7	$4,6 \cdot 10$	$2,3 \cdot 10^{-1}$	$4,6 \cdot 10^{-1}$	10

Результаты исследования и их обсуждение

В настоящее время основными матричными композициями для промышленной иммобилизации ВАО, содержащих как продукты деления, так и трансурановые радионуклиды, являются неорганические стекла. Выбор стекол обусловлен их свойствами - полимерной структурой и нестехиометрическим характером стекол, позволяющим включать в них в определенных пределах почти все элементы Периодической системы. Они характеризуются высокой стойкостью к коррозии в водных средах: природные силикатные стекла со дна океанов за миллион лет прокорродировали всего на десятую долю миллиметра [2].

Таблица 3. Основные свойства боросиликатных стекол [3]

Параметр		Значение
Включение отходов (в виде окислов)		30 – 35%
Вязкость, Па·сек, при 1200°C		3,5 – 5,0
Сопротивление, Ω м при 1200°C		0,03 – 0,05
Сопротивление при сжатии, МПа		80 - 100
Скорость выщелачивания, г/см ² ·день	^{137}Cs	$10^{-5} - 10^{-6}$
	^{90}Sr	$10^{-6} - 10^{-7}$
	Cr, Mn, Fe, Co, Ni	$10^{-7} - 10^{-8}$
	РЗЭ и актиниды	$\sim 10^{-8}$
	Na	$10^{-5} - 10^{-6}$
	B	$< 10^{-8}$

В предыдущих публикациях [3, 4] автор отмечал, что кондиционирование может быть выполнено путем преобразования ЛТСМ в боросиликатное стекло, обладающее малой восприимчивостью к действию радиации и низкой чувствительностью к изменениям химического состава иммобилизуемых материалов. В результате совместного переплавления ЛТСМ усредненного состава (табл. 4), соединений бора и натрия в массовом соотношении

ЛТСМ – 100, B_2O_3 – 18, Na_2O – 8 возможно формирование стекол с составом (в таблице выделено курсивом), близким по основным компонентам SiO_2 , Na_2O , B_2O_3 к боросиликатному стеклу **SON68**. Это стекло разработано во Франции для иммобилизации высокоактивных отходов от переработки отработанного ядерного топлива, которые содержат не только продукты деления, но и заметное количество трансурановых элементов.

Таблица 4. Химический состав ЛТСМ и боросиликатного стекла SON68, мас. %

Оксид	Керамика из пом. 304/3 [5]		Керамика из пом. ББ-2 [5]		Коричневая керамика [1]		Черная керамика [1]		Стекло SON68, основной состав [6]
SiO_2	65,2	51,7	66,9	53,1	58,5	46,4	63,2	50,2	45,28
CaO	6,2	4,9	4,8	3,8	6,1	4,8	6,6	5,2	4,02
ZrO_2	5,4	4,3	5,1	4,0	6	4,8	5,7	4,5	2,72
Na_2O	5,7	10,9	2	7,9	4,9	10,2	5,5	10,7	10,1
BaO	0,1	<i>0,1</i>	0,1	<i>0,1</i>	0,2	<i>0,2</i>	0,2	<i>0,2</i>	0,61
Al_2O_3	6,9	5,5	0	<i>0,0</i>	6,3	5,0	8,1	6,4	4,94
MnO	1,8	<i>1,4</i>	0,3	<i>0,2</i>	0,5	<i>0,4</i>	0,4	<i>0,3</i>	0,33
Fe_2O_3	0,5	<i>0,4</i>	1,8	<i>1,4</i>	1,2	<i>1,0</i>	0	<i>0,0</i>	2,95
MgO	3,5	2,8	8,9	<i>7,1</i>	6,4	<i>5,1</i>	5,3	4,2	
UO_2	4,7	3,7	10	7,9	10	7,9	5	4,0	
B_2O_3	-	14,3	-	14,3	-	14,3	-	14,3	13,97

Наличие широкого спектра радионуклидов подразумевает различные источники облучения: альфа-распад изотопов плутония и минорных актинидов, бета-распад продуктов деления и сопровождающее эти процессы гамма-излучение. Вопросам устойчивости стекол в условиях самооблучения посвящено множество работ, выполненных в США, Японии и в Европе. Было показано, что альфа-распад минорных актинидов является главной причиной изменений механических свойств стекол (прочность, плотность) [7].

При этом отмечено, что для гомогенных боросиликатных стекол доза облучения, выше которой объем стекла остается практически постоянным, составляет около $10^{18} \alpha\text{-распад}\cdot\text{г}^{-1}$ (10^{11} рад). Максимальная степень изменения объема стекла под воздействием самооблучения находится в пределах $\pm 1,2\%$ (рис. 1).

С целью количественной оценки воздействия самооблучения при альфа-распаде и обеспечения надежности прогнозов долгосрочного поведения стекла при геологическом захоронении во Франции были выполнены комплексные исследования свойств боросиликатного стекла SON68, легированного $^{244}\text{CmO}_2$. Включение в стекло короткоживущего актинида ($T_{1/2}^{244}\text{Cm} = 17,6$ лет) позволяет быстро накопить высокие дозы альфа-распада. Эта методология является наиболее представительной, поскольку весь объем стекла облучается с участием всех компонентов альфа-распада: ядер отдачи и альфа-частиц. Периодические исследования стекол с разной концентрацией $^{244}\text{CmO}_2$ в течение 8 лет позволили оценить эффекты доз альфа-распада, соответствующие примерно 100 000 лет захоронения стекол, содержащих реальные высокоактивные отходы переработки ядерного топлива.

Основные результаты исследований можно кратко сформулировать следующим образом:

- некоторые макроскопические свойства изменяются с накоплением альфа распадов, но затем стабилизируется после накопления дозы около $4\cdot 10^{18} \alpha\text{-расп}\cdot\text{г}^{-1}$. Плотность стекла

уменьшается примерно на 0,6%, модуль Юнга и твердость снижаются примерно на 15% и 30% соответственно, в то время как трещиностойкость увеличивается примерно на 50%;

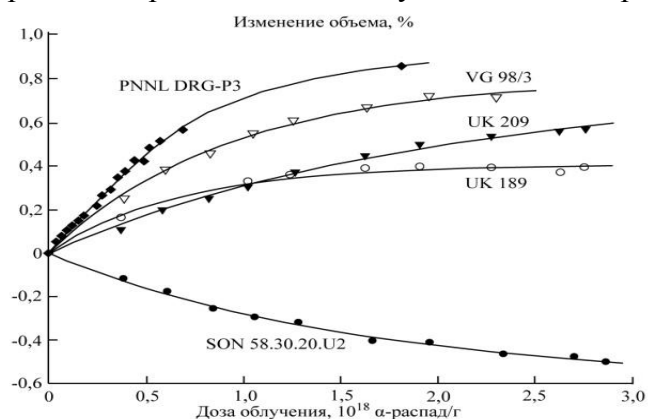


Рис. 1. Изменение объема боросиликатных стекел при α -облучении [8]

• скорость выщелачивания остается чрезвычайно низкой и изменяется в пределах $\approx 20\%$ вне зависимости от накопленной дозы вплоть до максимального значения $4 \cdot 10^{21}$ кэВ/см³ (рис. 2.);

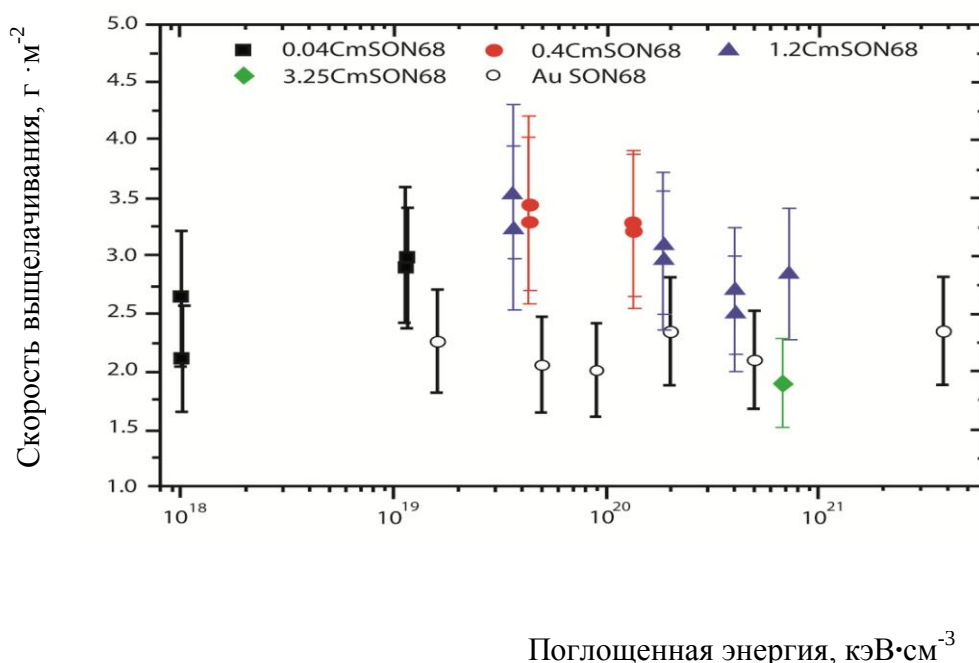


Рис. 2. Скорость выщелачивания из облученного стекла **SON68** [9].

Цифры в названии стекла соответствуют весовому содержанию $^{244}\text{CmO}_2$. AuSON68 – стекло, облученное ионами Au.

• методами электронной микроскопии установлено, что боросиликатное стекло вплоть до поглощенной дозы $1,5 \cdot 10^{19}$ α -расп.·г⁻¹ сохраняет структурную однородность при комнатной температуре. Не отмечено образование каких-либо новых фаз, микротрещин и газовых пузырьков;

• анализ методом просвечивающей электронной микроскопии подтвердил сохранение однородной микроструктуры после облучения дозой $8 \cdot 10^{18}$ α -расп.·г⁻¹ [10]. При этом предел

пространственного разрешения составил 10 нм. Таким образом радиационные повреждения стекла SON68 вследствие альфа-распада не вызывают модификацию микроструктуры стекла в нанометровом масштабе;

- в раман-спектрах (спектроскопия комбинационного рассеяния) стекол, легированных кюрием, с накоплением дозы альфа-распада наблюдаются некоторые изменения, но при этом анализ спектров подтверждает, что никакие вторичные фазы (ни кристаллическая, ни аморфная) не образуются при таких условиях облучения. После дозы $2 \cdot 10^{18}$ α -расп. $\cdot$ г $^{-1}$ вплоть до значений $1,2 \cdot 10^{19}$ α -расп. $\cdot$ г $^{-1}$ формы спектров не изменяются, свидетельствуя о стабилизации новой структуры во всем объеме стекла [11];

- поведение гелия, возникающего при альфа-распаде, было изучено в стекле SON68 путем измерения константы растворимости и коэффициентов диффузии гелия. Константа растворимости атомов гелия, включенных в свободный объем стекла, варьирует менее чем на 10% вокруг значения около 10^{11} ат. $\cdot$ см $^{-3}$ ·Па $^{-1}$. Эксперименты по изучению диффузии гелия указывают, что миграция гелия управляется классическим термоактивированным диффузионным процессом и не предполагает наличия каких-либо гелиевых «ловушек» в виде пузырьков нанометрических размеров [12].

Свойства, присущие боросиликатному стеклу SON68 позволяют считать его безопасной долговременно стабильной матрицей, пригодной для использования в качестве одного из защитных барьеров при геологическом захоронении высокорadioактивных отходов – продуктов переработки ядерного топлива. Модификация состава лавовых ТСМ объекта «Укрытие» путем введения бора и щелочей и формирования боросиликатного стекла, близкого по составу к стеклу SON68 (табл. 4), позволит рассчитывать на получение конечного продукта, способного соответствовать требованиям механической, химической и радиационной стойкости на период 100 и более тысяч лет.

Несложно рассчитать количество альфа-распадов, которое произойдет в 1 грамме ТСМ в течение 100000 лет, исходя из доступной информации о содержании делящихся нуклидов (табл. 2) и известных соотношений между активностью и массой ядерного материала

$$m = (A \cdot M \cdot T_{1/2}) / (0,693 \cdot N_A),$$

где m – масса радионуклида, г; A – активность радионуклида, Бк; M – молярная масса, г/моль; $T_{1/2}$ – период полураспада, сек; N_A – число Авогадро.

Ввиду больших периодов полураспада атомы ^{238}U и ^{235}U не дадут заметного вклада в общее количество альфа-распадов, накопленных в ТСМ за 100000 лет.

Альфа-распад ^{238}Pu приводит к образованию ^{234}U с периодом полураспада $2,46 \cdot 10^5$ лет. За искомый период 100000 лет распадется весь ^{238}Pu и часть ^{234}U , формируя цепочку из семи альфа-распадов, заканчивающихся стабильным ^{206}Pb . Общий вклад ^{238}Pu в самооблучение ТСМ составит $9,1 \cdot 10^{15}$ α -расп. $\cdot$ г $^{-1}$.

Таблица 5. Расчет количества атомов делящихся радионуклидов в образце ТСМ из ББ-2

	U-238	U-235	Pu-238	Pu-239	Pu-240	Cm-242	Cm-244	Am-241
$T_{1/2}$, лет	4,47E+09	7,04E+08	87,7	2,41E+04	6560	0,446	17,6	432
M , г	238	235	238	239	240	242	244	241
A , Бк/г			8,40E+05	8,50E+05	8,50E+05	4,60E+07	2,30E+05	4,60E+05
масса, г/г	0,0888	0,0027	1,32E-06	3,70E-04	1,01E-04	3,75E-07	7,46E-08	3,62E-06
n , атом/г	2,25E+20	6,92E+18	3,35E+15	9,32E+17	2,54E+17	9,34E+14	1,84E+14	9,04E+15

Проводя консервативный расчет по всем трансурановым радионуклидам с учетом соответствующих цепочек распада, можно ожидать формирование суммарной дозы $1,2 \cdot 10^{18}$ α -расп. $\cdot$ г $^{-1}$ ТСМ за 100000 лет. Принимая во внимание возможное разбавление ТСМ при смешении с менее активными разновидностями и добавку модификаторов (соединения бора и натрия), максимальная суммарная доза облучения боросиликатного стекла, сформированного на основе ТСМ, не превысит $1 \cdot 10^{18}$ α -расп. $\cdot$ г $^{-1}$ за 100000 лет.

Исходя из подобия химических составов боросиликатного стекла SON68 и предлагаемой боросиликатной матрицы для локализации лавовых ТСМ, можно предположить, что такая доза альфа-облучения не приведет к каким-либо изменениям механической, химической и радиационной стойкости за указанный период.

Такое преобразование ЛТСМ предотвратит их дальнейшую деструкцию вследствие развития трещин, которые, по всей видимости, являются результатом увеличения объема кристаллических включений за счет окисления оксида урана, и образования наноразмерных каналов, возникающих в результате накопления радиационных дефектов в ЛТСМ при их самооблучении [13].

Оптимальным методом получения боросиликатных стекол на основе ЛТСМ, по убеждению автора, является индукционное плавление в холодном тигле (ИПХТ)[3, 4]. По сравнению с другими плавителями, холодные тигли позволяют использовать более высокие температуры (до 3000 °С). За счет наличия в расплаве, находящемся в “холодном” тигле, местных зон перегрева и конвективного перемешивания достигается быстрое максимальное растворение оксида урана и его равномерное распределение в объеме стекломассы, чего не удастся достичь при использовании плавления в муфельной печи из-за седиментации урансодержащей фазы в донную часть стекломассы [14].

Высокая эффективность отверждения РАО методом ИПХТ подчеркивается во многих публикациях [2, 15]. Немаловажным аргументом в пользу ИПХТ является компактность тиглей. Диаметр тигля с производительностью около 40 кг/час составляет 800 мм (рис. 3), что допускает возможность размещения установки переработки ЛТСМ непосредственно в помещениях разрушенного энергоблока Чернобыльской АЭС. Принимая во внимание отсутствие в загружаемой в ИПХТ шихте соединений, при разложении которых образуются газообразные продукты, система вентиляции и очистки воздуха также не потребует больших помещений. Разлив боросиликатного стекла целесообразно выполнять в такие же контейнеры из нержавеющей стали, которые предусматриваются в проекте хранилища для возвращаемых из РФ остеклованных высокоактивных отходов от переработки отработанного ядерного топлива АЭС Украины. Это позволило бы унифицировать технические решения по транспортировке и хранению остеклованных отходов различного происхождения.

Каждый макроэлемент, входящий в состав ЛТСМ, будет оказывать соответствующее влияние на химическую устойчивость стекла, его вязкость, электропроводность и другие свойства. Увеличенные по сравнению со стеклом SON68 содержания Si, U, Zr, Mg и Al (табл.4) повысят устойчивость стекла к выщелачиванию, но также приведут к повышению вязкости расплава и температуры его варки.

Безусловно, необходимо выполнение комплекса исследований с тем, чтобы уточнить оптимальные соотношения лавовых ТСМ с присущими им вариациями химического состава и бор-натрий-содержащих компонентов для получения гомогенной боросиликатной матрицы с высокой гидролитической устойчивостью. Помимо указанного критерия, важным технологическим параметром, определяющим температуру получения стекольного расплава, является его вязкость.

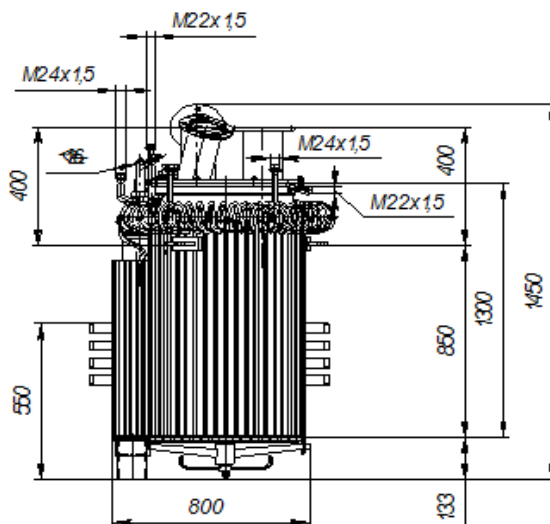


Рис. 3. Габаритные размеры и характеристики холодного тигля, предназначенного для плавления стеклоподобных компонентов и разлива в приемную тару
основной материал – сталь 12Х18Н10Т4; масса – 380 кг; расход охлаждающей воды 10 м³/час

Для решения этой задачи, при планировании эксперимента, целесообразно использовать метод факторного анализа, позволяющего определить влияние выбранных факторов на интересующие нас свойства конечного продукта путем одновременного варьирования концентрации основных компонентов при минимальном количестве постановочных опытов.

Таким образом, рассмотренные выше свойства боросиликатных стекол, включающих делящиеся радионуклиды, убедительно свидетельствуют в пользу выполнения неотложных научно-исследовательских работ по выбору оптимальной технологии локализации лавовых ТСМ объекта «Укрытие» в боросиликатную матрицу.

Выводы

1. В лавовых топливосодержащих массах, сосредоточенных в объекте «Укрытие», вследствие накопления радиационных дефектов при самооблучении ЛТСМ за счет α -распада трансурановых элементов, идут процессы деструкции. До настоящего времени нет единой точки зрения о характере долговременного (≈ 100 лет) поведения ЛТСМ.
2. Выполненные за рубежом исследования боросиликатных стекол, инкорпорированных короткоживущим нуклидом ^{244}Cm , показали высокую устойчивость этих матриц к воздействию альфа-облучения. Вплоть до дозы $1,2 \cdot 10^{19}$ α -расп.·г⁻¹ стекла сохраняют однородность, образования каких-либо новых фаз, микротрещин и газовых пузырьков не отмечено.
3. Оптимальным методом получения боросиликатных стекол на основе ЛТСМ, близких по составу основных компонентов к стеклам SON68, является индукционное плавление в холодном тигле с формированием шихты в массовом соотношении ЛТСМ – 100, В₂О₃ – 18, Na₂O – 8. Компактные размеры тигля и системы вентиляции позволяют рассматривать возможность размещения установки кондиционирования непосредственно в помещениях объекта «Укрытие».
4. Требуется неотложное проведение научно-исследовательских работ для определения оптимальных соотношений компонентов стекла с тем, чтобы получаемая матрица обладала гомогенностью и высокой гидролитической устойчивостью, приемлемой для передачи на захоронение.
5. Разлив боросиликатного стекла, сформированного с применением индукционного плавления в холодном тигле, может выполняться в металлические бочки, предусмотренные

в проекте хранилища для возвращаемых из РФ остеклованных высокоактивных отходов от переработки отработанного ядерного топлива АЭС Украины. Это позволило бы унифицировать технические решения по транспортировке и хранению остеклованных отходов различного происхождения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ядерное топливо в объекте «Укрытие» Чернобыльской АЭС / Р. В. Арутюнян, Л. А. Большов, А. А. Боровой, Е. П. Велихов, А. А. Ключников. — М. : Наука, 2010. — 240 с.
2. Ожован М. И. Применение стекол при иммобилизации радиоактивных отходов / Ожован М. И., Полуэктов П. П. // Безопасность окружающей среды. — 2010. — № 1. — С. 112—119.
3. Olkhovyk Yu. Corrosion Resistance of Chernobyl NPP Lava Fuel-Containing Masses / Yu.Olkhovyk, M. Ojovan// Innovations in Corrosion and Materials Science. — 2015. — No.5. (1) - p. 36 – 42.
4. Ольховик Ю.А. О кондиционировании лавовых топливо-содержащих масс объекта «Укрытие»// Ядерная энергетика та довкілля. — 2014. — №2(4). — с.52–55.
5. Отчет о состоянии безопасности объекта «Укрытие». — Т. 1. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://www.chnpp.gov.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=157&lang=ru
6. Peugeot S. Irradiation stability of R7T7-type borosilicate glass / S. Peugeot, J.N. Cachia, C. Jegou, X. Deschanel, D. Roudil, V. Broudic, J.M. Delaue, J.M. Bart // Journal of Nuclear Materials. — 2006. — 354. — p. 1–13.
7. Weber W.J. Radiation effects in glasses used for immobilization of high-level waste and plutonium disposition / W.J. Weber, R.C. Ewing, C.A. Angell, G.W. Arnold, A.N. Cormack, J.M. Delaue, D.L. Gscom, L.W. Hobbs, A. Navrotsky, D.L. Price, A.M. Stoneham, M.C. Weinberg // Journal of Material Society. — 1997. — V.12. — p. 1946–1978.
8. Ewing R. C. Actinide waste forms and radiation effects / Ewing R. C., Weber W. J. // Chemistry of the Actinide and Transactinide Elements. — 2011. — V. 6. — P. 3813—3887.
9. Peugeot S. Effect of alpha radiation on the leaching behaviour of nuclear glass /S.Peuget, V. Broudic, C. Jegou, P. Frugier, D. Roudil, X. Deschanel, H. Rabiller, P.Y. Noel // Journal of Nuclear Materials. — 2007. — 362. —p. 474–479.
10. Peugeot S. Specific outcomes of the research on the radiation stability of the French nuclear glass towards alpha decay accumulation / S. Peugeot, J.-M. Delaue, C. Jegou // Journal of Nuclear Materials. — 2014. — 444. —p. 76–91.
11. Peugeot S. Irradiation Stability of R7T7-Type Borosilicate Glass / S. Peugeot, J.M. Delaue, G. Bureau, R. Do Quang, S. Betremieux, C. Jegou, F.Chamssedine, T. Sauvage, T. Fares, G. Calas, G. Henderson, X. Deschanel // "Global – 2009.The Nuclear Fuel Cycle: Sustainable Options & Industrial Perspectives". - Paris, 2009.
12. Fares T. Helium diffusion in curium-doped borosilicate waste glass / T. Fares, S. Peugeot, O. Bouty, X. Deschanel, M. Magnin, C. Jegou // Journal of Nuclear Materials. — 2011. — 416. — p. 236–241.
13. Габелков С. В. Наноразмерные поровые каналы как составляющая порового пространства лавообразных топливосодержащих материалов объекта «Укрытие» /С. В. Габелков, А. А. Ключников, Е. Е. Олейник, П. Е. Пархомчук, Г. Ф. Чемерский, В. Н. Щербин// Проблемы безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля. — 2014. — 22. — с. 70 – 73.
14. Матюнин Ю.И. Исследование урансодержащих боросиликатных стекол, синтезированных в индукционном плавителе с холодным тиглем (ИПХТ)// Ю.И. Матюнин, С.В. Юдинцев. — Вопросы радиационной безопасности. — 2000. — №1. — с. 15– 23.
15. Ojovan M. I. Glassy wasteforms for nuclear waste immobilization / Ojovan M. I., Lee W. E. // Metallurgical and Materials Transactions A. — 2011. — v. 42A. — P. 837—851.

REFERENCES

1. R. Arutunian, L. Bolshov, A. Borovoy, E. Velikhov and A. Klyuchnikov Yadernoe toplivo v ob'ekte «Ukryitie» Chernobyil'skoy AES [Nuclear fuel in the object “Shelter” of Chernobul NPP] // Moscow: Nauka 2010, pp. 240. [in Russian]

2. M. Ozhovan, P. Polouektov *Primenenie stekol pri immobilizatsii radioaktivnykh otdodov // Bezopasnost okruzhayushchey sredy [Application glass immobilization of radioactive waste // Safety environment]* — 2010. — № 1. — P. 112—119. [in Russian]
3. Yu. Olkhovik *Corrosion Resistance of Chernobyl NPP Lava Fuel-Containing Masses / Yu. Olkhovik, M. Ojovan // Innovations in Corrosion and Materials Science.* — 2015. — No.5. (1) - p. 36 – 42.
4. Yu. Olkhovik *O konditsionirovanii lavovykh toplivo-soderzhashchikh mass ob'ekta "Ukrytie" // Yaderna energetika ta dookolovnya.* [About conditioning lava fuel-containing masses of the "Shelter" // Nuclear Energetics and Environment]. — 2014. — №2(4). — p.52–55. [in Russian]
5. Report on safety status of object "Shelter". Vol.1.
http://www.chnpp.gov.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=157&lang=ru
6. S. Peugeot *Irradiation stability of R7T7-type borosilicate glass / S. Peugeot, J.N. Cachia, C. Jegou, X. Deschanel, D. Roudil, V. Broudic, J.M. Delaue, J.M. Bart // Journal of Nuclear Materials.* — 2006. — 354. — p. 1–13.
7. W. Weber *Radiation effects in glasses used for immobilization of high-level waste and plutonium disposition / W.J. Weber, R.C. Ewing, C.A. Angell, G.W. Arnold, A.N. Cormack, J.M. Delaue, D.L. Gscom, L.W. Hobbs, A. Navrotsky, D.L. Price, A.M. Stoneham, M.C. Weinberg // Journal of Material Society.* — 1997. — V.12. — p. 1946–1978.
8. R. Ewing *Actinide waste forms and radiation effects / Ewing R. C., Weber W. J. // Chemistry of the Actinide and Transactinide Elements.* — 2011. — V. 6. — P. 3813—3887.
9. S. Peugeot *Effect of alpha radiation on the leaching behaviour of nuclear glass / S. Peugeot, V. Broudic, C. Jegou, P. Frugier, D. Roudil, X. Deschanel, H. Rabiller, P.Y. Noel // Journal of Nuclear Materials.* — 2007. — 362. — p. 474–479.
10. S. Peugeot *Specific outcomes of the research on the radiation stability of the French nuclear glass towards alpha decay accumulation / S. Peugeot, J.-M. Delaue, C. Jegou // Journal of Nuclear Materials.* — 2014. — 444. — p. 76–91.
11. S. Peugeot *Irradiation Stability of R7T7-Type Borosilicate Glass / S. Peugeot, J.M. Delaue, G. Bureau, R. Do Quang, S. Betremieux, C. Jegou, F. Chamssedine, T. Sauvage, T. Fares, G. Calas, G. Henderson, X. Deschanel // "Global – 2009. The Nuclear Fuel Cycle: Sustainable Options & Industrial Perspectives". - Paris, 2009.*
12. T. Fares *Helium diffusion in curium-doped borosilicate waste glass / T. Fares, S. Peugeot, O. Bouty, X. Deschanel, M. Magnin, C. Jegou // Journal of Nuclear Materials.* — 2011. — 416. — p. 236–241.
13. S. Gabielkov *[Nanosized pore channels as a component of pore space of lava-like fuel-containing materials of «Ukrytya» object // Problemi bezpeki atomnih elektrostantsiy I Chornobilya] / S. V. Gabielkov, O. O. Kliuchnykov, Ye. Ye. Oliynyk, P. E. Parkhomchuk, G. F. Chemersky, V. M. Shcherbin // Safety problems of nuclear power plants and Chernobyl.* - 2014 - #22 - p. 70 - 73. [in Russian]
14. Y. Matyunin *Issledovanie uransoderzhashchikh borosilikatnykh stekol, sintezirovannykh v induktsionnom plavitele s holodnym tiglem. [Immobilization of U₃O₈ in borosilicate glass in an induction melter with a cold crucible] / Y. I. Matyunin and S. V. Yudinsev // At.Energy.* — 1998. -Vol. 84. - pp. 173-178. [In Russian]
15. M. Ojovan *Glassy wasteforms for nuclear waste immobilization / Ojovan M. I., Lee W. E. // Metallurgical and Materials Transactions A.* — 2011. — v. 42A. — P. 837—851.

ЛОКАЛІЗАЦІЯ ПАЛИВОВМІСНИХ МАС ОБ'ЄКТУ «УКРИТТЯ» У БОРОСИЛІКАТНОМУ СКЛІ

Ольховик Ю. О. кандидат геол. - мін. наук, с. н. с, ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», yolkhovyk@ukr.net

У роботі розглянута поточна ситуація в об'єкті «Укриття», яка характеризується інтенсивними процесами руйнування лавових паливовмісних мас внаслідок альфа-розпаду ізотопів плутонію і мінорних актинидов. Виконаний у Франції комплекс досліджень властивостей боросилікатного скла, легованого короткоживущим ²⁴⁴StO₂, показав високу стійкість цієї матриці до впливу альфа-розпаду *in situ*. Навіть при отриманні дози $1,2 \cdot 10^{19}$

α -розп. $\cdot \text{г}^{-1}$ скло зберігає однорідність, утворення будь-яких нових фаз, мікротріщин і газових бульбашок не відзначено. Розглянуто можливість перетворення лавових паливовмісних мас у боросилікатне скло, близьке за складом до дослідженого скла SON68, з використанням індукційного плавлення в «холодному» тиглі. Накопичена доза в склі, сформованому на основі лавових паливовмісних мас, не перевищить $1 \cdot 10^{18} \alpha\text{-розп.} \cdot \text{г}^{-1}$ за 100000 років.

Ключові слова: лавові паливовмісні маси, захоронення, оскловування, боросилікатне скло, самоопромінення, альфа-розпад

LOCALIZATION OF «SHELTER» LAVA FUEL-CONTAINING MASSES IN BOROSILICATE GLASSES

Yu. Ol'khovyk Ph.D(Geol.-Min.), Senior Researcher, SI «Institute of Enviromental Geochemistry NAS Ukraine», yolkhovyk@ukr.net

The current situation of the "Shelter" object, which is characterized by intense processes of lava fuel-containing masses destruction as a result of the alpha decay of plutonium and minor actinide isotopes, is considered. Made in France, the complex study of the properties of borosilicate glass, doped by short-lived $^{244}\text{CmO}_2$, showed a high resistance of the matrix to the effects of alpha-decay in situ. Up to a dose of $1,2 \cdot 10^{19} \alpha \cdot \text{г}^{-1}$ glass retains uniformity, the formation of any new phases, cracks and gas bubbles was not observed. The possibility of conversion of fuel containing lava masses in borosilicate glass, which is close in composition to the studied glasses SON68, using induction melting in the "cold" crucible is discussed. The cumulative dose in the glass, formed by the lava fuel-containing masses, does not exceed $1 \cdot 10^{18} \alpha \cdot \text{г}^{-1}$ for 100 000 years.

Keywords: lava fuel-containing masses, disposal, vitrification, borosilicate glass, self-irradiation, alpha decay

УДК 574.539.1.04:628.3.034.2

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОЧИЩЕННЯ ШАХТНИХ ВОД НА ПРИКЛАДІ ІНГУЛЬСЬКОЇ ШАХТИ ДП «СХІД ГЗК»

Данилов С. В., Забулонов Ю. Л., Кадошніков В. М., Одукалець Л. А.

Данилов С. В. аспірант ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України» svdanilov@yahoo.com

Забулонов Ю. Л. чл. - кор. НАН України, докт. тех. наук, проф., зав.від. ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України» zabulonov@mail.ru

Кадошніков В. М. н. с. ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України» vm.kadoshnikov@gmail.com

Одукалець Л. А. н. с. ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України» laoduk@i.ua

У роботі описаний метод підвищення ефективності очищення шахтних вод і спосіб його реалізації. Комбіноване використання електродіалізу і методу співсаджень полягає в тому, що спочатку відбувається співсадження урану на частинках сульфату кальцію, а наступне застосування електродіалізу після процесу коагуляції наночастинок дозволяє отримати очищення стоку з концентрацією урану не більше 0,01 мг/дм³. Розглянуто можливість вилучення не тільки урану, але і його супутників – радію, полонію тощо. У статті наведено результати досліджень із застосуванням установки очищення шахтних вод Інгульської шахти ДП «Схід ГЗК», зокрема результати лабораторних вимірювань складу шахтних вод, що надходять на установку, складу шахтних вод, що пройшли процес очищення і скидаються у навколишнє середовище та результати тестових експериментів із знесолення розчину з використанням лабораторної установки EDL-10. Доведена перспективність використання електродіалізу при змінному електричному струмі. При протіканні змінного струму в електрохімічній системі створюються умови для здійснення більш широкого класу різних електрохімічних реакцій в розчинах, на електродах і міжфазній межі електрод–електроліт, електроліт–мембрана. Перевагою застосування нестационарного режиму при електродіалізі є його низька чутливість до концентрації іонів водню (рН), що дозволяє працювати як з сильно кислими, так і з сильно лужними розчинами. Підтверджено обмеження застосування електродіалізу, що пов'язано з неможливістю вилучення незаряджених компонентів високомінералізованих розчинів, якщо такі будуть присутні.

Ключові слова: електродіаліз, шахтні води, очищення, мембрани, лабораторна установка, знесолення, пом'якшення, рН.

Вступ

При підземній розробці уранових родовищ умовно чисті води не відводяться, відбувається їх змішування з забрудненими шахтними водами та розповсюдження цих водопотоків по гірничих виробках, що призводить до зашламовування водостічних каналів і водозбірників, підтоплення гірничих виробок. Таким чином це погіршує умови утримання гірничих виробок і виводить з ладу шахтний транспорт. Забруднюється літосфера, підземні водні горизонти. Шахтні води, які проникають у водоносні горизонти через зони техногенного зрушення гірських порід (при експлуатації шахт), провали над виходами вугільних пластів, відвали шахт – потенційні джерела забруднення підземних вод.

Об'єми шахтних вод, що скидаються в річки і водойми, можуть бути порівняні з обсягами природного стоку малих річок і справляють на їх водний баланс величезний негативний вплив.

Загальний обсяг забруднених стоків, що скидаються по гірничо-видобувній галузі України, становить понад 900 млн. м³/рік. Сумарний обсяг шахтних вод на Інгульській шахті ДП "Схід ГЗК" в даний час з урахуванням відпрацювання Мічурінського і Центрального родовищ складає 700-800 м³/годину. При відпрацюванні запасів нижніх горизонтів приток

шахтних вод Мічурінського родовища збільшиться до 400 м³/годину, при цьому загальна потужність притоку вод складе 1100-1200 м³/годину, що вимагає збільшення продуктивності установки очищення шахтних вод (УОШВ). Проектна продуктивність УОШВ після реконструкції складе – 900 м³/година (18000 м³/доба; 6,57 млн. м³/рік). З наведених вище причин стає зрозуміло, яке велике значення для екологічної безпеки регіону має пом'якшення та знесолення шахтних вод.

Проблематика очищення шахтних вод існувала завжди, але вона має властивість наростати з розвитком підприємства, збільшенням його видобудку, розробкою нових шарів породи, утворенням все більш розгалужених підземних мереж, прогресуючим накопиченням відвалів породи, і логічним збільшенням об'єму шахтних вод, що потрапляють до навколишнього середовища.

Мета роботи: Оптимізація методів очищення шахтних вод, розробка устаткування і складових заходів щодо підвищення ефективності очищення на прикладі Інгульської шахти ДП «Схід ГЗК»

Результати дослідження та їх обговорення

Аналіз складу шахтних вод ДП «Схід ГЗК», наведеного у таблиці 1, показує, що такі води не можуть бути скинуті у відкриту водойму, оскільки вони не відповідають вимогам, що пред'являються для скидання в р. Інгулець, по ряду параметрів. У першу чергу, це пов'язано перевищенням гранично допустимого скиду (ГДС) шахтними водами за радіонуклідним складом. Зокрема, вміст урану за період січень-вересень 2012 становив близько 0,5 мг/л, в той час як згідно вимог нормативних документів вміст останнього не повинен перевищувати 0,05 мг/л.

Таблиця 1. Склад шахтних вод, що надходять на установку очищення

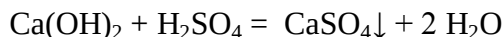
№ п/п	Показники складу	Од. вим.	ГДС	середнє значення (максимальне значення)								
				січень	лютий	березень	квітень	травень	червень	липень	серпень	вересень
1	рН	од. рН	6,5-8,5	7,9 (7,9)	8 (8,1)	8 (8,1)	7,9 (8)	7,9 (8)	7,9 (8,1)	7,7 (7,9)	7,6 (7,9)	7,2 (8)
2	Завислі речовини	мг/дм ³	19,8	66,2 (123)	95 (162)	90 (138)	53,6 (84,8)	55,1 (86,3)	52,1 (83,2)	421,7 (2430)	756,9 (5767)	397,7 (1345)
3	Сульфати	мг/дм ³	501,4	704,3 (752)	646 (697)	616,3 (659)	631 (667)	647,5 (650)	613,7 (680)	750,7 (868)	696,3 (714)	1716,3 (3411)
4	Хлориди	мг/дм ³	561	686,7 (774)	522 (730)	424,7 (577)	508 (668)	372 (403)	499,7 (630)	631,7 (747)	619 (796)	1059 (1815)
5	Мінералізація	мг/дм ³	2216,7	2658 (2880)	2268 (2646)	2032 (2106)	2418 (2632)	2154 (2354)	2424,7 (3198)	2644 (2870)	2564,7 (2950)	4284 (7214)
6	Амонію іон	мг/дм ³	0,8	0,8 (1,3)	1,56 (2,4)	1,06 (1,6)	1,2 (1,8)	0,8	0,5 (0,6)	1 (1,3)	0,6 (0,82)	16,6 (46,2)
7	Нітриди	мг/дм ³	0,4	0,9 (1,6)	0,7 (1,1)	0,8 (0,9)	0,9 (1)	0,8 (0,9)	0,9 (1,7)	1,3 (2,4)	1,2 (1,4)	1,5 (1)
8	Нітрати	мг/дм ³	30,6	25,1 (28,8)	30,7 (38,6)	26,2 (28,3)	31,1 (32,2)	27,6 (31,9)	27,4 (32,2)	29,9 (36)	25,3 (27,5)	26,6 (40,1)
9	Залізо заг.	мг/дм ³	0,3	3,4 (5,1)	5,2 (6,9)	3,6 (4,8)	1,7 (2,7)	4,7 (6,7)	2 (2,6)	5,8 (8,2)	5,5 (10,9)	22,5 (41,5)
10	Фосфати /PO43-/	мг/дм ³	0,4	0,1 (0,2)	0,1	0,1 (0,3)	0,1 (0,1)	0,1	0,1 (0,1)	0,1 (0,1)	0,1 (0,1)	0,2 (0,3)
11	Кальцій	мг/дм ³	270,2	329,3 (411)	241,3 (303)	217,7 (236)	250 (308)	227,5 (239)	225 (265)	277,3 (298)	273,7 (323)	362,7 (481)
12	Уран	мг/дм ³		0,6 (0,8)	0,5 (0,5)	0,4 (0,5)	0,5 (1)	0,4 (0,6)	0,4 (0,5)	0,7 (1,4)	0,4 (0,7)	0,4 (0,6)

Крім радіонуклідів шахтні води містять значну кількість завислих речовин, вміст яких, згідно ГДС, не повинен перевищувати 19,8 мг/л. Реально ж, шахтні води містять від 60 до 100 мг/л завислих речовин.

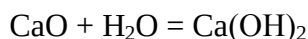
Для шахтних вод Інгульської шахти ДП «Схід ГЗК» характерно перевищення ГДС такими елементами як сульфати, вміст яких становить 780 мг/л при нормативі 501,4 мг/л; вміст нітритів становить 1 мг/л при нормативі 0,38 мг/л; вміст заліза загального – 6 мг/л при нормативі 0,26 мг/л.

Враховуючи реальні показники складу води і вимоги нормативної документації, якою керується підприємство «Схід ГЗК» при скиданні шахтних вод в р. Ігулець, на підприємстві була застосована УОШВ.

В основу роботи цієї установки покладено процеси співосадження радіоізотопів при виділенні і осажденні іонів Ca^{2+} , Mg^{2+} . Для цієї мети використовується реакція утворення нерозчинного сульфату кальцію, одержуваного при взаємодії гідроксиду кальцію з розчином сірчаної кислоти. При цьому реалізується реакція:



Для отримання суспензії гідроксиду кальцію (вапняне молоко), в запропонованій схемі очищення шахтних вод передбачається процес гасіння вапна водою, що протікає по наступній реакції:



Утворені в процесі взаємодії гідроксиду кальцію і сірчаної кислоти кристали сульфату кальцію (гіпсу) виступають в якості сорбенту для радіонуклідів. Крім того, при утворенні сульфату кальцію під дією сірчаної кислоти значні кількості відносно розчинних карбонатів і гідрокарбонатів перетворюються в низько розчинний сульфат по реакції



Аналогічним чином трансформуються карбонати і гідрокарбонати магнію і заліза. Перетворення карбонатів і гідрокарбонатів в сульфати, які мають низьку розчинність, при розділенні твердої і рідкої фаз призводить до незначного зменшення концентрації солей у водах, що очищуються.

У процесі співосадження утворюється значна кількість нерозчинних речовин, для відділення яких від рідкої фази використовується метод відстоювання. Тим не менше, навіть при десятигодинному відстоюванні утворюється значна кількість частинок, які перешкоджають процесу розділення твердої і рідкої фаз методом фільтрування. Для осаження утвореної суспензії передбачений процес освітління, що полягає в додаванні в неосвітлений фільтрат розрахункової кількості поліакриламід (ПАА). При взаємодії ПАА з твердими частинками суспензії утворюється коагулят, який у подальшому, методом фільтрування на дисковому фільтрі, відділяється від рідкої фази. Отриманий фільтрат містить до 10 мг/л твердих речовин.

Отриманий фільтрат, після проведення коригування і доведенні його рН до 8-8,5 скидається в навколишнє середовище. Принципова і технологічна схеми оброблення шахтних вод з метою приведення їх хімічного, радіонуклідного і мінерального складу у відповідності до вимог ГДС, наведені на рис. 1 і рис. 2.

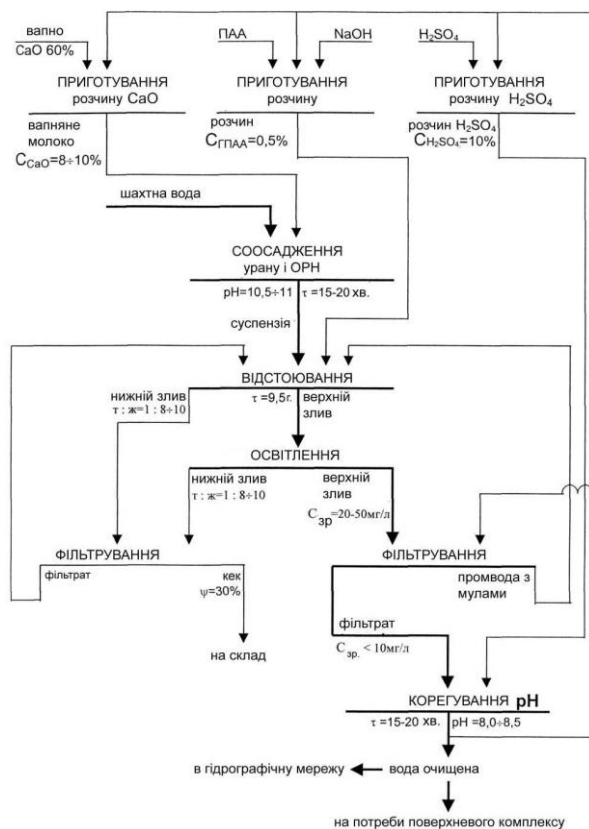


Рис. 1. Принципова схема очищення шахтних вод на Інгульській шахті ДП «СхідГЗК»

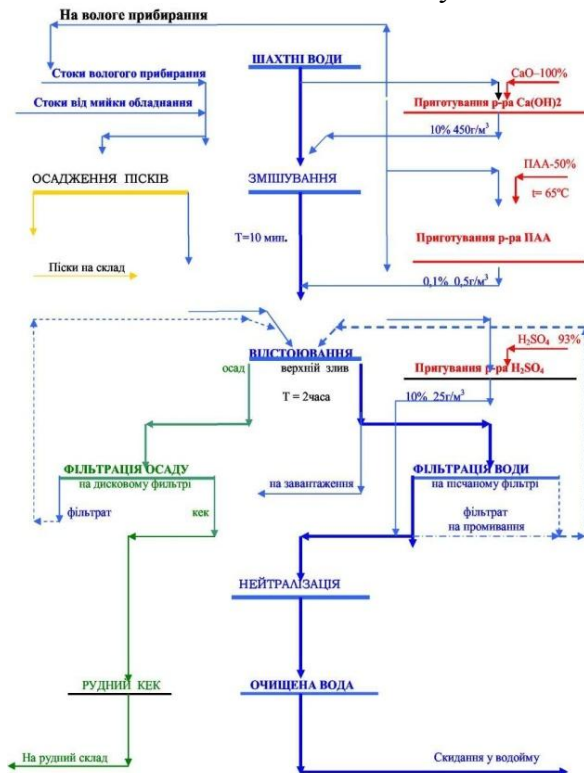


Рис. 2. Технологічна схема очищення шахтних вод на Інгульській шахті ДП «Схід ГЗК»

Склад шахтних вод Інгульської шахти ДП «Схід ГЗК», що пройшли процес очищення на УОШВ і скидаються у навколишнє середовище, наведено у таблиці 2.

Таблиця 2. Склад шахтних вод, що пройшли процес очищення на УОШВ Інгульської шахти ДП «Схід ГЗК» і скидаються у навколишнє середовище

№ п/п	Показники складу	Од. вим.	ГДС	після очищення {середнє значення(максимальне значення)}								
				січень	лютий	березе нь	квітень	травень	червень	липень	серпень	вересень
1	pH	од. pH	6,5-8,5	7,2 (7,9)	7,9 (8,8)	7,3 (8,5)	7,4 (7,9)	7,3 (7,9)	7,4 (8,3)	7,6 (8,5)	6,9 (7,3)	7,9 (11,5)
2	Завислі речовини	мг/дм ³	19,8	16,76 (19,4)	20,98 (27,2)	18,78 (22,1)	17,76 (19,7)	21,11 (46,5)	18,96 (23,5)	48,48 (293)	18,6 (19,7)	32,64 (108)
3	Сульфати	мг/дм ³	501,4	691,7 (731)	672,3 (698)	815 (829)	728,3 (836)	647,7 (694)	884 (985)	914,7 (996)	996,3 (1085)	920 (991)
4	Хлориди	мг/дм ³	561	554 (591)	600,8 (688)	574,7 (599)	573,7 (647)	546,7 (556)	723 (737)	654,7 (761)	777,7 (964)	670,3 (827)
5	Мінералізація	мг/дм ³	2216,7	2259,3 (2330)	2400,5 (2600)	2364,7 (2506)	2178,7 (2486)	2218 (2336)	2823,3 (3198)	2766 (3220)	3187,3 (3794)	2955,3 (3292)
6	Амонію іон	мг/дм ³	0,8	0,6 (0,8)	1,7 (2,2)	1,5 (1,7)	1,3 (2,5)	0,8 (0,9)	0,9 (1)	2,6 (5,9)	0,8 (1)	2,8 (4,3)
7	Нітриди	мг/дм ³	0,4	0,5 (0,8)	0,8 (0,9)	1 (1)	1,4 (1,8)	0,8 (1)	3 (3,9)	2,2 (2,9)	1,5 (2)	2,4 (2,7)
8	Нітрати	мг/дм ³	30,6	19,1 (22)	25,1 (30)	22,7 (25,6)	27,1 (29)	22,6 (25)	30,5 (38)	28,3 (39,2)	21,5 (24,1)	25,4 (33)
9	Залізо заг.	мг/дм ³	0,3	0,1 (0,1)	0,7 (1)	0,2 (0,3)	0,2 (0,3)	0,3 (0,6)	0,1 (0,2)	0,3 (0,4)	0,2 (0,5)	0,5 (1,4)
10	Фосфати	мг/дм ³	0,4	0,1 (0,1)	0,1 (0,1)	0,1 (0,1)	0,1 (0,1)	0,1 (0,1)	0,1 (0,1)	0,1 (0,1)	0,1 (0,1)	0,1 (0,1)
11	Кальцій	мг/дм ³	270,2	282 (299)	264,3 (277)	307,3 (344)	258 (345)	240,3 (267)	317,7 (337)	331,7 (440)	359,7 (507)	389 (429)
12	Уран	мг/дм ³		0,1 (0,3)	0,4 (0,5)	0,04 (0,1)	0,1 (0,2)	0,1 (0,3)	0,04 (0,1)	0,05 (0,1)	0,04 (0,1)	0,03 (0,1)

Аналіз отриманих даних однозначно свідчить, що склад шахтних вод, що пройшли процес очищення на УОШВ Інгульської шахти ДП "Схід ГЗК" і скидаються у навколишнє середовище, за своїм хімічним складом, рівнем загальної мінералізації і кількістю мікрровключень у ряді випадків за деякими показниками не відповідає вимогам, встановленим нормативною документацією. Серед розчинних компонентів перевищення ГДС характерно за такими показниками, як сульфати та хлориди, а концентрація інших елементів сягає верхньої межі ГДС.

Таким чином, для очищення шахтних вод Інгульської шахти ДП «Схід ГЗК» існуючих схем і методів очищення вкрай недостатньо і нами запропоновано застосовувати, як найбільш доцільний, метод електродіалізного очищення.

Вибір технології знесолення шахтних вод

При виборі тієї чи іншої технології знесолення часто виникає питання, яку технологію обрати. Найбільшими конкурентами при знесоленні значних об'ємів вод високого ступеню солоності є два мембранних методи: зворотній осмос (процес мембранного розділення рідких розчинів шляхом проникнення через напівпроникну мембрану розчинника під дією тиску застосованого до розчину, що перевищує його осмотичний тиск) і електродіаліз (процес проходження іонів розчиненої речовини через мембрану під дією електричного поля у вигляді градієнта електричного потенціалу), які поперемінно конкурують між собою за право домінувати.

Хоча теоретично при обох процесах потрібна співставна кількість енергії, необоротне розсіювання енергії істотно відрізняється. Необоротні втрати енергії при зворотньому осмосі викликані гідравлічним опірм мембрани потоку води і, таким чином, залежить від концентрації солі у розчині. У електродіалізі необоротні втрати енергії викликані

електричним опором потоку іонів через мембрану. Для подачі розчинів з низькою концентрацією солей потреби в енергії, як правило, нижче у випадку використання електродіалізу ніж при зворотному осмосі, з реверсним подаванням сильно концентрованих розчинів.

Існують критерії, зручні для порівняння, якими можна оперувати. Домінуючими, за якими слід проводити зіставлення ефективності зворотного осмосу і електродіалізу, є три фактори:

- попередня підготовка води;
- частота заміни мембран;
- енергоємність процесу.

В даному випадку порівнянням вартості самих установок, які варіюють у різних країнах (розкид цін до 30%), ми навмисне нехтуємо.

У таблиці 3 наведено порівняльну характеристику двох мембранних процесів: електродіалізу та зворотного осмосу.

Таблиця 3. Порівняльна характеристика процесів електродіалізу та зворотного осмосу

	Електродіаліз	Зворотний осмос
1.	Мембрани майже не чутливі до компонентів і фізико-хімічних параметрів середовища, у якому експлуатується	Мембрани мають високу чутливість до різного роду домішок органічного та неорганічного характеру
2.	Процес не вимагає застосування схем передпідготовки води	Процес вимагає застосування розвинених схем передпідготовки води (досягають 8 стадій)
3.	Для зворотного осмосу, і для електродіалізу (але у значно меншому ступеню, ніж для зв. осмосу) найбільш небезпечними є солі жорсткості, особливо кальцієва жорсткість*	
4.	Система реверсного електродіалізу може працювати при залишковій концентрації активного хлору до 1 мг/дм ³	Зворотний осмос потребує дехлорування, щоб захистити мембрану від деградації через окислення вільним хлором
5.	Мінімальне біологічне забруднення мембрани, що пов'язано зі здатністю реверсного електродіалізу працювати у присутності невеликих концентрацій активного хлору	Зворотний осмос потребує дехлорування, щоб захистити мембрану від деградації через окислення вільним хлором, а отже вірогідність біологічного забруднення мембрани зростає
6.	Система реверсного електродіалізу дозволяє відновлювати воду до 95 %	Для системи зворотного осмосу ступінь відновлення води знаходиться в межах 65-75 %
7.	Мембрана реверсного електродіалізу нечутлива до впливу бактерій і впливу високих температур	При зворотному осмосі потрібні спеціальні розчини
8.	Мембрана реверсного електродіалізу не потребує спеціальних умов зберігання	При зворотному осмосі потрібен контроль температури при зберіганні мембрани
9.	Мембрана**, що використовується в технології реверсного електродіалізу, може експлуатуватися 2- 10 років, залежно від складу середовища,	Мембрана зворотного осмосу може використовуватися не більше 1-3-х років через чутливість до факторів процесу, зокрема середовища, в якому експлуатується.
10.	Мембрана реверсного електродіалізу може бути очищена кислотою, розсолем, каустичною содою	Мембрана зворотного осмосу вимагає спеціальних дорогих очищаючих хімікатів (хелатів)
11.	Вода, піддана процесу електродіалізу, після змішування вмісту катодної та анодної камер, не потребує додаткової обробки	В результаті зворотного осмосу стічна вода містить дуже велику кількість кислоти, що вимагає її нейтралізації каустичною содою чи вапном
12.	Очищення електродіалізних пакетів не зустрічає будь-яких труднощів	Розбирання заводських блоків апаратів зворотного осмосу, що мають спіральну конфігурацію, найчастіше неможлива
13.	Мембрани для електродіалізу грубі, композитні, надзвичайно міцні	Мембрани зворотного осмосу ізотропні (з однорідною структурою) або анізотропні (з поверхневим тонкодисперсним шаром) тонкі
14.	Мембрани після висихання відновлюють свої властивості, що надзвичайно важливо в країнах з жарким кліматом	Мембрани надзвичайно чутливі до пересихання і реально зберігають свої якості від 6 місяців до року
15.	Мембрани легко регенеруються розчинами кислот	Мембрани не підлягають регенерації
16.	Повна витрата електроенергії на процес електродіалізу (з урахуванням енергії перекачувальних насосів) варіює в межах 1,5-2,5 кВт/год/м ³	Для води з масовою часткою солей 3,5-4,0 % робочий тиск в установках зі знесолення повинен бути 7-8 МПа. І, незважаючи на високу селективність мембран, процес проводять у дві стадії.
17.	На видалення 1 кг солі необхідно до 2 кВт/год електроенергії	Для знесолення 1 м ³ такої води необхідно до 10 кВт/год електроенергії

* Причому, ці переваги можна збільшити, перейшовши з мембран, що мають стирол-дівінілбензолъну основу на акрилову.

** Для зниження вмісту солей кальцію не існує ефективних методів.

Технічна складова установки EDL-10

Для перевірки наших припущень стосовно доцільності використання для підвищення ефективності очищення шахтних вод ДП «Схід ГЗК» описаних методів була розроблена лабораторна установка EDL-10.

Основною її частиною слугує розбірний електродіалізний модуль, що складається з наступних деталей і вузлів:

- стяжні плити;
- міжмембранні поліетиленові прокладки лабіринтового типу з поліетиленовою заставної сіткою – турбулізаторами;
- іонообмінні мембрани;
- електроди (вбудовані в стяжні плити);
- з'єднання 1/2 CPVC для приєднання до технологічних трубопроводів;
- стяжні шпильки з нержавіючої сталі і болти з шайбами;
- ущільнювальні гумові рамки.

Конструктивно електромембранний апарат являє собою пакет, що набирається послідовним чергуванням іонообмінних мембран і міжмембранних прокладок, укладених між стяжними плитами із вбудованими електродами і стягнутими за допомогою шпильок. Кожна міжмембранна прокладка з двома сусідніми (верхньою і нижньою) мембранами утворює камеру, що представляє собою герметичний канал, в порожнину якого вміщено сепаратори-турбулізатори, призначення яких створювати необхідну турбулентність потоку розчину і запобігати безпосередньому контакту мембран між собою. У міжмембранних прокладках по одній з коротких сторін зроблено робочі отвори, які при збірці утворюють вертикальні канали (колектори-розподільники) по всій висоті пакетів системи підведення і відведення розчинів, що подаються на переробку. У отворів присутні щілини, що живлять проточний канал. Шляхом повороту прокладки навколо горизонтальної (довгої) осі при збірці пакету змінюється положення живильних щілин – зміщення щілин з одного отвору на інший. Таким чином створюються ізольовані одна від одної групи камер (або тракти). У процесі роботи розчини безперервно протікають через відповідні камери апарату. Витікаючі потоки кожного тракту об'єднуються в збірних відвідних каналах. Крайні камери пакета, які розташовані безпосередньо біля електродів, є електродними. Конструкція апарату виключає контакт розчинів, що переробляються, з вузлами і деталями, крім підвідних і відвідних CPVC з'єднань, поліетиленових прокладок і мембран. В системі підключення апарату передбачені необхідні місця роз'єму для з'єднання з технологічними трубопроводами і підключення електричного живлення. Завдяки цьому апарат легко готується для переміщення в зібраному вигляді. Окрім розбірного електродіалізного модуля лабораторна установка EDL-10 складається з:

- насосів ділюата, концентрату, електроліту;
- ротаметрів для контролю швидкості потоку в камерах ділюату, концентрату, електроліту;
- манометрів для регулювання тиску в камерах ділюату, концентрату, електроліту;
- баків для розчину ділюату, концентрату, електроліту;
- блоку управління насосами;
- джерела електричного живлення;
- клапанів управління робочими розчинами;
- вентилів байпасів насосів, пробовідбірника;

- насосів подачі розчинів.

Принципова гідравлічна схема установки EDL-10 наведена на рис. 3. Основні технічні характеристики лабораторної установки EDL-10 наведено в таблиці 4.

Таблиця 4. Технічні характеристики лабораторної установки EDL-10

Тип електромембранного апарату	Багатокамерний, однопакетний, двотрактний
Розмір між мембранних прокладок, мм	247x108x1,05
Матеріал прокладок і сепаратора-турбулізатора	Поліетилен високого тиску
Розмір мембран, мм	247x108x0,5
Тип мембран:	Аніонітові
	Катіонітові
Кількість робочих мембран апарату, шт., всього:	20
	10 – аніонітові
	10 – катіонітові
Максимальна продуктивність по тракту, л/год	100
Коефіцієнт використання мембран, %	61
Число електродів	2
Матеріал електродів:	
Катод	нержавіюча сталь Х18Н10Т
Анод	титан марки ВТ1 з вакуумним напленням платиною 5 мк
Межа напруги на електродах, В	0 – 100
Максимальний робочий струм, А	3,0
Максимальна температура робочих розчинів на виході з апарату:	
у проточному режимі	40°C
у циркуляційному режимі	35°C
Робочий напір у лінії вихідного розчину на вході в апарат, кг/см ²	0,1- 0,5
Максимально допустимий короточасний напір на вході, кг/см ²	1,5
Максимально допустима різниця напорів між трактами, кг/см ²	0,1

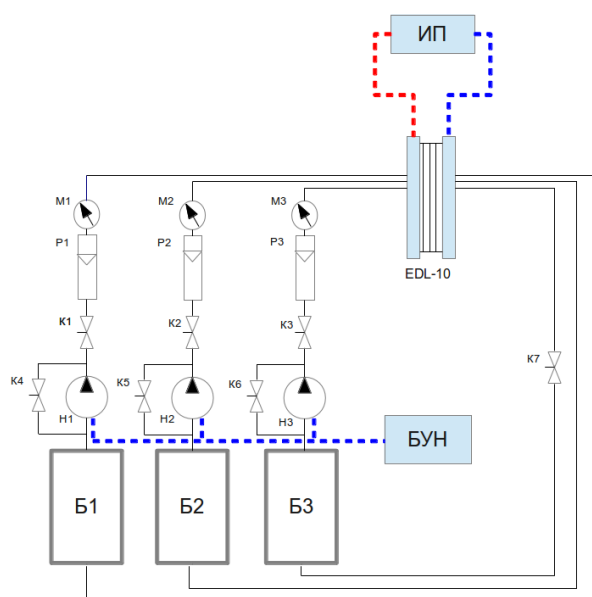


Рис. 3. Принципова гідравлічна схема установки EDL-10:

Б1 - бак для розчину електроліту, Б2 - бак для концентрату, Б3 - бак для ділюату, М1 - М3 - манометри вимірювання вхідного тиску на апарат EDL-10, Р1 - Р3 - ротаметри (витратоміри), БУН - блок управління насосами, ИП - джерело електричного живлення, EDL-10 - електромембранний двухтрактний апарат лабораторний, К1-К3 - клапани керування робочими розчинами, К4 - К6 - вентиля байпасів насосів, К7 - клапан пробовідбірника, Н1-Н3 - насоси подачі розчинів на EDL-10.

Порядок роботи на установці:

1. У робочу ємність (бак Б1) подають однорідний розчин з однаковою концентрацією іонів.
2. Одночасно вмикаються усі три насоси (Н1, Н2, Н3), вентиля байпасів при цьому відкриті, а вхідні вентиля апарату закриті.
3. Поступово відкриваємо вентиля подачі розчину на електродіалізний модуль (К7), тиск та швидкість потоку в трактах вирівнюється до єдиного показника, потік води повинен бути в межах 300 л/год.
4. Подаємо напругу на апарат увімкнувши джерело живлення (ИП), робоча напруга порядку 20 В і 1 А.
5. У процесі роботи апарату концентрація іонів змінюється, в камері ділюата (Б3) концентрація падає, в камері концентрату (Б2) вона зростає.
6. Процес контролюємо шляхом відбору проб через вентиля пробовідбірників 7. Показники солемісту в трактах, електропровідності, рН, швидкості потоку, часу обробки заносимо в таблицю для фіксації даних.
6. Після роботи вимикаємо джерело живлення, перекриваємо подачу робочих розчинів на апарат, вимикаємо насоси.
7. Проводимо аналізи отриманих результатів і розчинів.

Новизна. Створена на базі методу електродіалізу лабораторна установка EDL-10 показала більшу ефективність цього методу за умови деяких удосконалень мембран і спеціальних режимів струму у порівнянні з існуючою технологією переробки шахтних вод ДП «Схід ГЗК». Підвищення ефективності роботи апарата досягається шляхом створення багатоканальних, багатоканальних збірок. Загальний вигляд лабораторної установки EDL-10 наведено на рис. 4.

Економічний ефект при використанні електродіалізної технології знесолення води досягається за рахунок зниження витрати реагентів і подальшого глибокого іонітного знесолення води. При електродіалізному знесолуванні попередньо очищеної від дисперсних частинок води не потрібні підкислення концентрату і кислотна промивка мембран. Для регенерації іонітних фільтрів можна також використовувати суміші сильних кислот, що утворюються в контурі концентрування електродіалізного апарату.

Екологічна ефективність досягається за рахунок скорочення скидання мінералізованих стоків у відкриті водойми та відводу з продувкою водою тільки тих солей, які перейшли в контур концентрування з оброблюваної води.

Тестові випробування лабораторної установки EDL-10 для очищення модельних розчинів

На лабораторній установці було проведено серію тестових випробувань з використанням модельних розчинів з мінералізацією 1,5 -2,5 г/л (модельні розчини 1, 2, 3 з мінералізацією 2,5 г/л, 1,5 г/л, 2 г/л та електропровідностями 520 мкСм, 410 мкСм, 450 мкСм відповідно). Результати експериментів наведено у таблицях 5, 6, 7, 8.



Рис. 4. Загальний вигляд лабораторної установки EDL-10

Таблиця 5. Споживання енергії і хімічних речовин

	Комбінація випаровування та мембранних процесів	Випаровування	Мембранні процеси
Споживання ел. енергії (кВт.год/м ³)	25,22	26,02	24,06
Відновлення чистої води / загальне (%)	0,39	0,62	0,02
Споживання сірчаної кислоти (кг/м ³)	80	77	52
Споживання гідроксиду натрію (кг/м ³)	2,51	0,663	4,65

Таблиця 6. Результати експериментів із знесолення модельного розчину 1 з використанням лабораторної установки EDL-10

№	Час очищення, хв	Об'єм води, л	Швидкість потоку, л/хв		рН		Електропровідність мкСм		Тиск, атм	Напруга, В	Робочий струм, А	
			а	б	а	б	а	б			а	б
1	180	55	0,4	0,4	5-6	5-6	520	25	0,18	51	0,25	0,05
2	180	55	0,4	0,4	5-6	5-6	520	22	0,18	51	0,25	0,05
3	180	55	0,4	0,4	5-6	5-6	520	23	0,18	51	0,25	0,05
4	180	55	0,4	0,4	5-6	5-6	520	25	0,18	51	0,25	0,07
5	180	55	0,4	0,4	5-6	5-6	520	25	0,18	51	0,25	0,06
6	180	55	0,4	0,4	5-6	5-6	520	27	0,18	51	0,25	0,06
7	180	55	0,4	0,4	5-6	5-6	520	24	0,18	51	0,25	0,05
8	180	55	0,4	0,4	5-6	5-6	520	28	0,18	51	0,25	0,05
9	180	55	0,4	0,4	5-6	5-6	520	26	0,18	51	0,25	0,05
10	180	55	0,4	0,4	5-6	5-6	520	25	0,18	51	0,25	0,05

а – вихідний модельний розчин, б – розчин після обробки на EDL-10

Таблиця 7. Результати експериментів із знесолення модельного розчину 2 з використанням лабораторної установки EDL-10

№	Час очищення, хв	Об'єм води, л	Швидкість потоку, л/хв		pH		Електропровідність, мксм		Тиск, атм	Напруга, В	Робочий струм, А	
			а	б	а	б	а	б			а	б
1	180	70	0,4	0,4	5-6	5-6	410	14	0,03	51	0,24	0,04
2	180	70	0,4	0,4	5-6	5-6	410	13	0,03	51	0,24	0,04
3	180	70	0,4	0,4	5-6	5-6	410	15	0,03	51	0,24	0,07
4	180	70	0,4	0,4	5-6	5-6	410	15	0,03	51	0,24	0,06
5	180	70	0,4	0,4	5-6	5-6	410	14	0,03	51	0,24	0,05
6	180	70	0,4	0,4	5-6	5-6	410	12	0,03	51	0,24	0,05
7	180	70	0,4	0,4	5-6	5-6	410	16	0,03	51	0,24	0,05
8	180	70	0,4	0,4	5-6	5-6	410	15	0,03	51	0,24	0,08
9	180	70	0,4	0,4	5-6	5-6	410	15	0,03	51	0,24	0,06
10	180	70	0,4	0,4	5-6	5-6	410	15	0,03	51	0,24	0,04

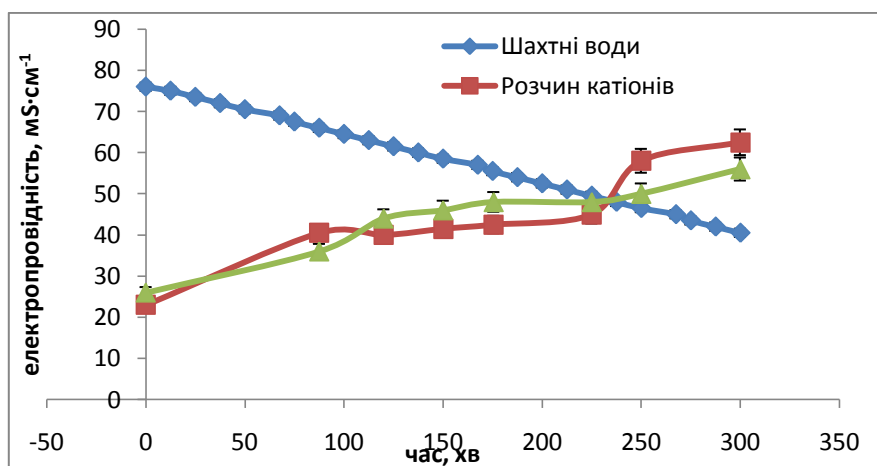
а – вихідний модельний розчин 1, б – розчин після обробки на EDL-10

Таблиця 8. Результати експериментів із знесолення модельного розчину 3 з використанням лабораторної установки EDL-10

№	Час очищення, хв	Об'єм води, л	Швидкість потоку, л/хв		pH		Електропровідність, мксм		Тиск, атм.	Напруга, В	Робочий струм, А	
			а	б	а	б	а	б			а	б
1	160	60	0,3	0,3	5-6	5-6	450	17	0,02	51	0,3	0,07
2	160	60	0,3	0,3	5-6	5-6	450	18	0,02	51	0,3	0,07
3	160	60	0,3	0,3	5-6	5-6	450	18	0,02	51	0,3	0,06
4	160	60	0,3	0,3	5-6	5-6	450	18	0,02	51	0,3	0,05
5	160	60	0,3	0,3	5-6	5-6	450	18	0,02	51	0,3	0,06
6	160	60	0,3	0,3	5-6	5-6	450	19	0,02	51	0,3	0,05
7	160	60	0,3	0,3	5-6	5-6	450	16	0,02	51	0,3	0,07
8	160	60	0,3	0,3	5-6	5-6	450	18	0,02	51	0,3	0,05
9	160	60	0,3	0,3	5-6	5-6	450	18	0,02	51	0,3	0,06
10	180	60	0,3	0,3	5-6	5-6	450	25	0,02	51	0,3	0,07

а – вихідний модельний розчин 1, б – розчин після обробки на EDL-10

Зміну електропровідності розчинів катіонів та аніонів з часом, при перенесенні їх крізь відповідну мембрану у лабораторній установці EDL-10, наведено на рис. 5.

**Рис. 5.** Зміна електропровідності розчинів катіонів та аніонів, при перенесенні їх крізь відповідну мембрану у лабораторній установці EDL-10

З наведених даних видно, що зі збільшенням часу досліду кількість іонів, що мігрують у аналітну чи каталітну камеру збільшується. Слід звернути увагу на те, що кількість катіонів і аніонів, які пройшли крізь відповідні мембрани, приблизно однакова. Це вкрай важливо, оскільки при змішуванні концентрованих розчинів з аналітної та каталітної камер якісний склад розчину буде ідентичним вихідній воді, що піддавалась знесоленню. Якісний склад води після очищення залишається практично незмінним, в той час, як її мінералізація значно зменшується.

Висновки

Спільне використання електродіалізу і методу співосадження, що призводить до співосадження урану на частинках сульфату кальцію на стадії після процесу коагуляції, дозволяє підвищити ефективність очищення шахтних вод Інгульської шахти ДП «Схід ГЗК» до концентрації не більше 0,01 мг / дм³.

Запропонована технологія дає можливість безпосереднього скиду очищених урановмісних шахтних вод у відкриті водоймища.

Використання змінного електричного струму в технологіях електродіалізу значно розширює область його застосування і дозволяє використовувати для очищення стоків підприємств уранопереробної промисловості.

ЛІТЕРАТУРА

1. «Розробка технології з підвищення ефективності очищення шахтних вод від хімічних забруднювачів» - Закл. звіт про НДР - договір № 944/35 від 04.10.2012 р. між ДУ «ІГНС НАН України» та ДП «СхідГЗК» - номер держреєстрації 0112U008121. – К., 2012., - 73 маш.арк.
2. «Створення установки очищення рідких радіоактивних відходів об'єктів ядерно-паливного циклу» - Закл. звіт про НДР - договір № 36 від 17.03.2014 р. – ДУ «ІГНС НАН України» - номер держреєстрації 0114U002702. – К., 2014. – 71 маш.арк.
3. Патент України, № UA 77398. Спосіб одержання активованої суспензії бентоніту. *Забулонов Ю.Л., Кадошніков В.М., Лисиченко Г. В., Литвиненко Ю. В.* // Заявка № U 2012 09789 от 14.08.12. Опубл. 11.02.13. - Бюл. №3.
4. Патент України № UA 77123. Спосіб очищення вод, забруднених важкими металами, радіонуклідами, у присутності органічних речовин різної природи. *Ю. Л.Забулонов, Кадошніков В. М., Литвиненко Ю. В.* // Заявка № U 2012 09790 от 14.08.12.- Опубл. 25.01.13. – Бюл. №2.
5. *Zabulonov Y., Lytvynenko Y., Rozko A., Phedorenko Y., Kadoshnykov V., Yurzhenko M.* Sorption of cations of different nature mineral-polymeric composite based on sodium polyacrylate // VIII Ukrainian-Polish conference "Polymers of special applications" 01-04 October 2014: abstract book. - smt. Polyanicya Bukovel, Ukraine.
6. *Zabulonov Y., Lytvynenko Y., Rozko A., Phedorenko Y., Kadoshnykov V.* Special polymeric mineral composites with increased sorption activity to the transition metal ions // "Polymers of special applications": VIII Ukrainian-Polish conference 01-04 October 2014: abstract book. – smt. Polyanitsya, Ukraine, 2014. – P. 166-168.
7. *Забулонов Ю.Л., Кадошніков В.М., Литвиненко Ю.В.* Вплив електромагнітного поля на фізико-хімічні властивості дисперсних систем у багатокомпонентних рідинах, що містять радіонукліди // Сб. науч. тр. СНИЭП. – Севастополь, 2009. - Вып. 04. - С. 113-120.

REFERENCES

1. «Rozrobka tekhnolohii z pidvyshchennia efektyvnosti ochyshchennia shakhtnykh vod vid khimichnykh zabrudniuvachiv» [Development of technology to improve the efficiency of the mine water treatment chemical pollutants]- Zakl. zvit pro NDR - dogovir № 944/35 vid 04.10.2012 p. mizh SI «IGNS NAN Ukraine» ta DP «ShidGZK» - № DR 0112U008121.Kiev: [in Ukraine]

2. «Stvorennia ustanovky ochyshchennia ridkykh radioaktyvnykh vidkhodiv ob'ektiv yadernopalyvnoho tsykladu» [Creating a clean installation of liquid radioactive wastes of the nuclear fuel cycle] - Zakl. zvit pro NDR - dogovir № 36 vid 17.03.2014 p. – SI «IGNS NAN Ukraine» № DR 0114U002702. Kiev [in Ukraine]
3. Patent Ukrainy № UA 77398. Sposib odergannia actyvovanoi suspensii bentonitu [Method activated bentonite slurry] Yu. Zabulonov, V. Kadoshnikov, G. Lysychenko, Yu. Lytvynenko // Zaiavka № U 2012 09789 ot 14.08.12. - Opubl. 11.02.13. – Biul. №3. Kiev: [in Ukraine].
4. Patent Ukrainy № UA 77123. Sposib ochyshchennia vod, zabrudnennykh vazhkymy metalamy, radionuklidamy, u prysutnosti orhanichnykh rechovyn riznoi pryrody [The method of treating water contaminated with heavy metals, radionuclides, organic compounds in the presence of different nature] Yu. Zabulonov, V. Kadoshnikov, Yu. Lytvynenko // Zaiavka № U 2012 09790 ot 14.08.12.- Opubl. 25.01.13– Biul. №2. Kiev: [in Ukraine]
5. Yu. Zabulonov, Yu. Lytvynenko, A. Rozko, Yu. Phedorenko, V. Kadoshnykov, M. Yurzhenko Sorption of cations of different nature mineral-polymeric composite based on sodium polyacrylate // VIII Ukrainian-Polish conference "Polymers of special applications" 01-04 October 2014: abstract book. - smt. Polyanicya Bukovel, Ukraine.
6. Yu. Zabulonov, Yu. Lytvynenko, A. Rozko, Yu. Phedorenko, V. Kadoshnykov Special polymeric mineral composites with increased sorption activity to the transition metal ions // "Polymers of special applications": VIII Ukrainian-Polish conference 01-04 october 2014: abstract book. – smt. Polyanitsya, Ukraine, 2014. – P. 166-168.
7. Yu. Zabulonov, V. Kadoshnykov, Yu. Lytvynenko Vplyv elektromahnitnoho polia na fizyko-khimichni vlastyvoli dyspersnykh system u bahatokomponentnykh ridynakh, shcho mistiat radionuklidy [The impact of electromagnetic fields on the physicochemical properties of dispersed systems in multicomponent fluids containing radionuclides]// Sb. nauch. tr. SNYEP. (2009). Sevastopol: [in Ukraine]

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ ШАХТНЫХ ВОД НА ПРИМЕРЕ ИНГУЛЬСКОЙ ШАХТЫ ГП «ВОСТОК ГОК»

Данилов С. В., Забулонов Ю. Л., Одукалец Л. А., Кадошников В. М.

Забулонов Ю. Л. чл.-кор. НАН Украины, докт. тех. наук, проф., зав. отд. ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины», zabulonov@mail.ru;

Данилов С. В. аспирант ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины», SeRg <svdanilov@yahoo.com;

Одукалец Л. А. н.с. ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины», laoduk@i.ua

Кадошников В. М. н.с. ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины», vm.kadoshnikov@gmail.com

В работе описан метод повышения эффективности очистки шахтных вод и способ его реализации. Комбинированное использование электродиализа и метода соосаждения заключается в том, что сначала происходит соосаждение урана на частицах сульфата кальция, а последующее применение электродиализа после процесса коагуляции наночастиц позволяет получить очистку стока с концентрацией урана не более 0,01 мг / дм³. Рассмотрена возможность извлечения не только урана, но его спутников: радия, полония и др. В статье приведены результаты исследований с применением установки очистки шахтных вод, в том числе результаты лабораторных измерений состава шахтных вод ГП «Восток ГОК», поступающих на установку, состав шахтных вод, прошедших процесс очистки на УОШВ Ингульской шахты ГП «Восток ГОК» и сбрасываемых в окружающую среду и результаты тестовых экспериментов с обессоливания раствора с использованием лабораторной установки EDL-10. Показана перспективность использования электродиализа при переменном электрическом токе. При протекании переменного тока в электрохимической системе создаются условия для осуществления более широкого класса различных электрохимических реакций в растворах, на электродах и межфазной границе электрод-электролит, электролит-мембрана. Преимуществом применения нестационарного режима при электродиализе является его низкая чувствительность к концентрации ионов водорода (pH), что позволяет работать как с сильно кислыми, так и с сильно щелочными растворами. Подтверждено ограничения применения

электродиализа, что связано с невозможностью изъятия незаряженных компонентов высокоминерализованных растворов, если такие будут присутствовать.

Ключевые слова: электродиализ, шахтные воды, очистка, мембраны, лабораторная установка, обессоливание, смягчение, pH.

IMPROVEMENT OF EFFICIENCY OF MINE WATERS CLEANING BY THE EXAMPLE OF INGULSKAYA MINE OF SE « VostGOK»

S. Danilov, Yu. Zabulonov, L. Odukalets, V. Kadoshnikov

Yu. Zabulonov Cor. Member NASU, D.Sc. (Tech.) SI «Institute of Environmental Geochemistry NAS Ukraine», zabulonov@mail.ru;

S. Danilov Doctoral Student SI «Institute of Environmental Geochemistry NAS Ukraine» SeRg <svdanilov@yahoo.com

L. Odukalets, researcher SI «Institute of Environmental Geochemistry NAS Ukraine», laoduk@i.ua

V. Kadoshnikov researcher SI «Institute of Environmental Geochemistry NASU», ym.kadoshnikov@gmail.com

The paper describes a method for increasing in the efficiency of mine water treatment and the method of its implementation. The combined use of electrodialysis and the coprecipitation method is that the first is coprecipitation of uranium on the particles of calcium sulfate, and the next use of electrodialysis process after coagulation nanoparticles can get effluent with uranium concentration of less than $0.01 \text{ mg} / \text{dm}^3$. The possibility of extracting not only uranium, but its associated elements: radium, polonium, and others. The article presents the results of studies using mine water treatment installations, including the results of laboratory measurements of mine water of Subsidiary "VostGOK", coming to setting, the composition of mine waters that have undergone treatment at MWTI of Inhulskaya Mine of State Enterprise " VostGOK » and results of test experiments on solution desalt using a laboratory setup EDL-10. The perspective of using electrodialysis with an alternating electric current is showed. When alternating current flows in an electrochemical system, it is created the conditions for the implementation of the broader class of electrochemical reactions in various solutions on the electrodes and the interface electrode-electrolyte, the electrolyte membrane. The advantage of the application of unsteady mode during electrodialysis is its low sensitivity to hydrogen ion concentration (pH) that allows to work with both strongly acidic and strongly alkaline solutions. The restrictions of use of electrodialysis, that are due to the impossibility of removal of the uncharged components of highly solutions, if any are present, are confirmed.

Keywords: electrodialysis, mine water treatment, membrane laboratory facility, desalination, softening, pH.

УДК 551.577.25(477.8)

ХІМІЧНИЙ СКЛАД АТМОСФЕРНИХ ОПАДІВ В ОКОЛИЦЯХ м. БОРИСЛАВА

Карабин В. В., Рак Ю. М.

Карабин В. В. канд. геол. н., завідувач кафедри екологічної безпеки, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, vasyl.karabyn@gmail.com.

Рак Ю. Ю. ад'юнкт, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, julia.rak.1993@mail.ru

Здійснено оцінку хімічного складу атмосферних опадів на території одного з найстаріших нафтопромислових районів Європи – Бориславському, виявлено його особливості для подальшого моделювання міграції забруднюючих речовин у гідролітосфері. Встановлено, що мінералізація талих вод зі снігу в околицях м. Борислав коливається від 0,073 г/дм³ до 0,081 г/дм³ за середнього значення 0,075 г/дм³. За хімічним складом талі води хлоридно-гідрокарбонатні магнієво-кальцієво-натрієві. Вміст іонів амонію в середньому становить 1,2 мг/дм³, нітратів – 3,582 мг/дм³. У порівнянні з талими водами снігового покриву фонових ділянок Карпат досліджені авторами проби снігу характеризуються значно вищою концентрацією головних іонів та сполук азоту. Причиною високої концентрації головних іонів та сполук азоту, ймовірно, є значне техногенне навантаження на атмосферу внаслідок діяльності нафтовидобувних та переробних підприємств регіону.

Ключові слова: сніг, хімічний склад атмосферних опадів, макрокомпоненти, головні іони, іон-амонію, нітрати, м. Борислав, р. Тисмениця.

Вступ

Атмосферні опади є одним з основних джерел надходження хімічних речовин на поверхню суші та Світового океану. Коливання вмісту хімічних елементів та сполук в опадах дуже широкі і змінюються в межах одного-двох порядків величин для фонових районів Землі. Відомо, що найменш мінералізовані опади випадають у полярних областях та в глибині континентів, опади з високою мінералізацією випадають у прибережних районах [1]. Зокрема, мінералізація атмосферних опадів на побережжі Португалії та Ірландії 405 – 410 мкекв/л, у північній частині Фінляндії 80 мкекв/л, у центральній частині Європи 123 мкекв/л (рис. 1).

Дослідження хімічного складу атмосферних опадів є важливим для вирішення значної кількості теоретичних і практичних завдань, таких як оцінка їхнього впливу на формування хімічного складу поверхневих і підземних вод, міграції та колообігу речовин у природі, розрахунок сольового балансу окремих водних об'єктів та територій тощо. Під впливом природних і антропогенних факторів кількість хімічних речовин, що надходить з атмосферними опадами, не є стабільною. Результати багаторічних досліджень, які проводяться у багатьох країнах світу, вказують на зміни довготривалого тренду хімічного складу атмосферних опадів [1-3].

Особливо важливо досліджувати хімічний склад атмосферних опадів на ділянках полігенних техногенних забруднень, оскільки їх склад може суттєво впливати на умови міграції забруднюючих компонентів у ґрунтового розрізі та у водних об'єктах. Однією з таких критично техногенно навантажених територій є Бориславський нафтопромисловий район загалом, та м. Борислав, зокрема.

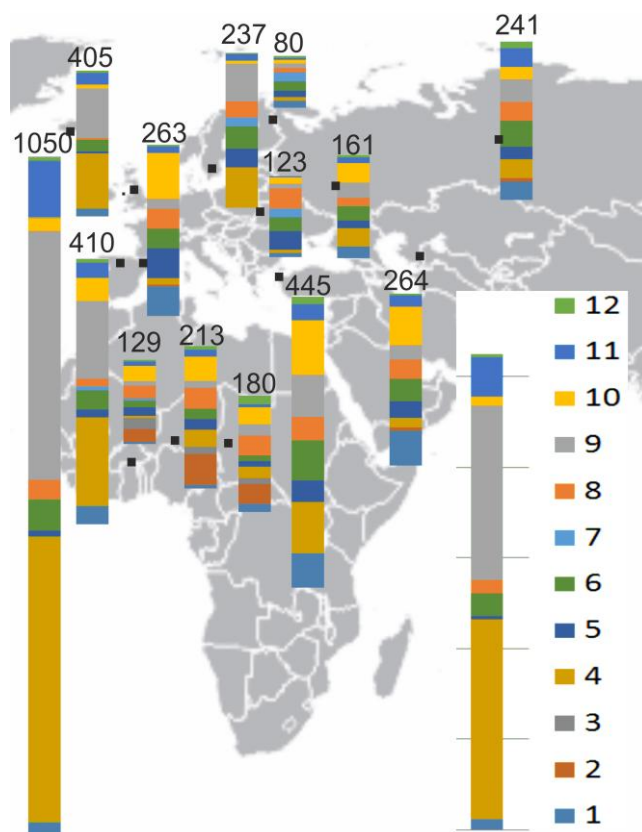


Рис. 1. Вклад окремих іонів в опадах до загальної кількості іонного складу на обраних регіонально репрезентативних ділянках за даними [1]: 1 – K^+ , 2 – Mg^{2+} , 3 – Ca^{2+} , 4 – Na^+ , 5 – NH_4^+ , 6 – H^+ , 7 – SO_4^{2-} , 8 – NO_3^- , 9 – Cl^- , 10 – органічні кислоти, 11 – HCO_3^- , 12 – інші компоненти.

Мета досліджень – здійснити оцінку хімічного складу атмосферних опадів в околицях м. Борислава, встановити його особливості для подальшого моделювання міграції забруднюючих речовин у гідролітосфері.

Об'єкт і методи дослідження

Об'єкт досліджень – атмосферні опади в околицях м. Борислава. Предмет досліджень – хімічний склад атмосферних опадів.

Бориславський нафтопромисловий район є один з найстаріших нафтовидобувних районів Європи, нафту на цій території видобувають з ПХ ст. за допомогою ям-копанок. У 1893 р. розпочато буріння свердловин канатним способом [4]. У результаті майже півтора столітнього нафтовидобутку територія в околицях Борислава вкрита сотнями нафтових шурфів, копанок, свердловин, що створило передумови виникнення екологічної катастрофи. Зокрема, у р. Тисмениці встановлено перевищення ТДК нафтопродуктів (4000 мг/кг) у 2-8 разів. Важливою проблемою є загазованість приповерхневих відкладів вуглеводневими газами, яка різко загострюється під час зупинок окремих експлуатаційних свердловин та вакуумних компресорних станцій. У такі періоди об'ємна частка метану у дегазаційних свердловинах може сягати 8,67 %, що в 1,7 разів перевищує нижнє значення вибухонебезпечності та до 4,7 % - у шурфах [5].

Кількість викидів забруднюючих речовин зі стаціонарних джерел у атмосферу м. Борислава, за даними Департаменту екології і природних ресурсів Львівської обласної держадміністрації [6] стабілізувалася у 2011 році і у 2014 році складала 470 т. Зі

стаціонарних джерел м. Дрогобича, яке знаходиться поряд, в атмосферу у 2014 році надійшло 769 т. Викиди в атмосферу у Дрогобицькому районі з 2010 р. стабільно зменшуються, і у 2014 становили 1738 тонн (рис. 2.).

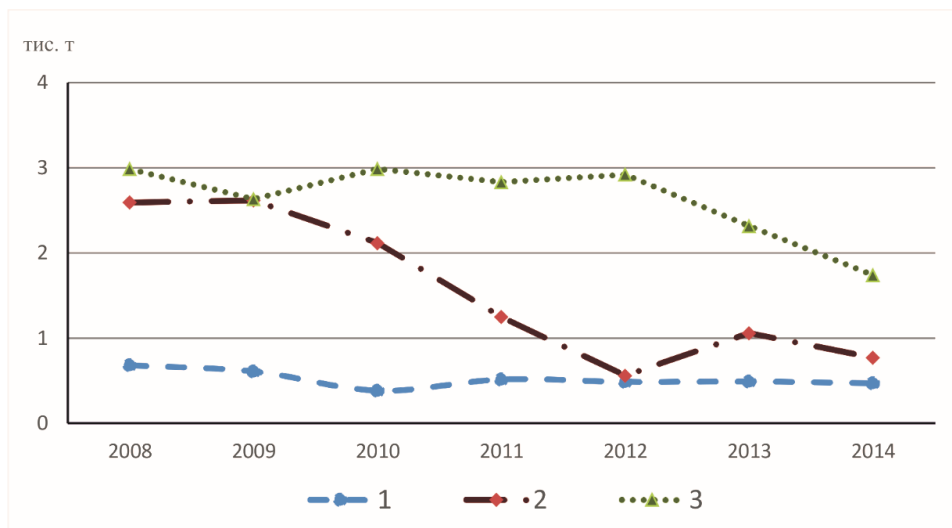


Рис. 2. Динаміка викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря від стаціонарних джерел, тис. т за даними [6]: **1** – м. Борислав, **2** – м. Дрогобич, **3** – Дрогобицький район.

У структурі викидів м. Борислава з стаціонарних джерел переважають викиди діоксиду азоту – 74 т та оксиду вуглецю – 57 т.

Бориславський нафтопромисловий район у геоморфологічному відношенні належить до Дрогобицької передгірної скульптурної височини Передкарпаття. У рельєфі зустрічаються як широкі заболочені рівнини, так і глибоковрізані потоки з увалисто-хвилястими межиріччями [7].

Клімат території досліджень формується внаслідок домінування повітряних мас помірних широт. Проте, у зимовий і весняний періоди спостерігаються припливи континентального арктичного повітря, яке приносить холодну безхмарну погоду з низькими температурами [7]. В м. Борислав та його околицях впродовж 1 кварталу 2016 року суцільний стабільний сніговий покрив формувався у періоди 14-25 січня і 24-27 лютого. Напрямок вітру впродовж 24-27 лютого переважно був північно східний і північний. За даними [8] швидкість вітру коливалася від 0 до 5 м/с і в середньому складала 2,25 м/с. Впродовж 24-26 лютого на території досліджень випало 14,3 мм опадів, що склало 4,8 мм опадів у добу. Атмосферний тиск у цей період був мало мінливий 757,6 – 762,9 мм рт. ст. Температура повітря на метеостанції м. Дрогобич коливалася від -5,0 до +5,7 °C в середньому складаючи + 0,9 °C. В околицях м. Борислава, де відібрані проби снігу, температура повітря була нижчою.

Авторами наприкінці лютого 2016 року відібрано 4 проби снігу, об'єм кожної з яких у талому вигляді становив близько 3-х літрів. Відбір проб ускладнювався двома причинами. По-перше, зима була малосніжною, тому для отримання потрібної кількості матеріалу для досліджень доводилось відбирати сніг переважно у низинних ділянках. Це могло дещо вплинути на результати визначень концентрацій компонентів (ймовірно, завищити), оскільки не виключається перенесення вітром з відкритих підвищених ділянок як сніжних мас, так і пило-грунтових частинок. Оскільки рельєф досліджуваної території є досить пересіченим, то такий фактор не можна відкидати. По-друге, сильне нагрівання для танення снігу небажане, щоб не втратити іони гідрокарбонатів, амонію та нітритів, а в кімнатних

умовах цей процес триває досить довго (великі кількості снігу тануть повільно). З огляду на це, не виключається активізація біологічних мікрооб'єктів, здатних відновлювати нітрати або інші компоненти. З тієї ж причини частина талих проб консервувалась додаванням хлороформу (близько 3 см³ на дм³).

Аналітичні дослідження проведені в лабораторії екологічної безпеки ЛДУБЖД (свідоцтво про атестацію № РЛ097/14 від 28.07.2014). Вміст хлоридів (Cl⁻) [9], гідрокарбонатів (HCO₃⁻) [10], кальцію (Ca²⁺) [9] і магнію (Mg²⁺) [9] визначався методом титрування. Зокрема: хлориди – з нітратом срібла в присутності хромату калію; гідрокарбонати – з соляною кислотою в присутності метилоранжу; кальцій і магній – з трилоном Б в присутності мурексиду та еріохрому чорного, відповідно. Сульфати (SO₄²⁻) визначались ваговим методом (осадження нітратом барію з подальшим прожарюванням осаду) згідно з КНД 211.1.4.026-95. Вміст натрію (Na⁺) і калію (K⁺) розраховували за балансом еквівалентів. Інші аніони (нітрати (NO₃⁻) [11] та нітрити (NO₂⁻) [12] визначались фотоколориметричним методом, а саме: вміст нітратів – взаємодією з розчином саліцилату натрію у сірчаноокислому середовищі; нітритів – з реактивом Грісса. Визначено виключно розчинні форми іонів.

Результати та їх обговорення

Мінералізація талих вод зі снігу в околицях м. Борислава коливається від 0,073 г/дм³ до 0,081 г/дм³ і в середньому становить 0,075 г/дм³. У катіонному складі переважають іони натрію і калію, кількість яких змінюється від 7,8 мг/дм³ до 9,3 мг/дм³. Вміст іонів кальцію коливається у межах від 5,9 мг/дм³ до 7,3 мг/дм³, магнію – від 3,4 мг/дм³ до 4 мг/дм³. У аніонному складі домінують гідрокарбонати, вміст яких коливається від 32,6 мг/дм³ до 34,2 мг/дм³, концентрація іонів хлору змінюється від 6,2 мг/дм³ до 8,2 мг/дм³ (табл.1). За хімічним складом талі води хлоридно-гідрокарбонатні магнієво-кальцієво-натрієві:

$$M_{0,072-0,074} = \frac{HCO_3^- 56,7 - 62,1 [Cl^- 19,7 - 24,6 SO_4^{2-} 16,5 - 18,7]}{Na^+ + K^+ 33,3 - 37,0 Ca^{2+} 31,5 - 37,1 Mg^{2+} 28,4 - 35,1}$$

Важливим показником якості води є вміст у ній сполук азоту, зокрема нітратів і нітритів, та амонію.

У межах території досліджень вміст іонів амонію змінюється від 1,05 мг/дм³ до 1,32 мг/дм³ в середньому становлячи 1,2 мг/дм³. Концентрація нітратів коливається від 3,078 мг/дм³ до 4,012 мг/дм³ за середнього значення 3,582 мг/дм³ (рис. 3). У порівнянні з ГДК питної води (45 мг/дм³) концентрація нітратів у талих водах є значно нижчою.

Небезпека підвищених концентрацій нітратів для людини полягає у тому, що надходячи до травного каналу з водою, вони під впливом кишкової мікрофлори відновлюються в нітрити. Останні потрапляють у кров і блокують гемоглобін шляхом утворення метгемоглобіну, що не здатний вступати в зворотну реакцію з киснем і переносити його. Отже, що більше гемоглобіну перетворилося на метгемоглобін, то менша киснева ємкість крові. Якщо нітрати надходять в організм дорослих у надмірних, але не дуже високих дозах, концентрація метгемоглобіну збільшується незначно. Це майже не позначається на стані здоров'я, проте у хворих на анемію або серцево-судинні захворювання можуть посилитися прояви гіпоксії [13].

Вміст заліза (Fe_{заг}) у досліджуваних водах змінюється від 1,1 мг/дм³ до 1,78 мг/дм³ і в середньому становить 1,45 мг/дм³.

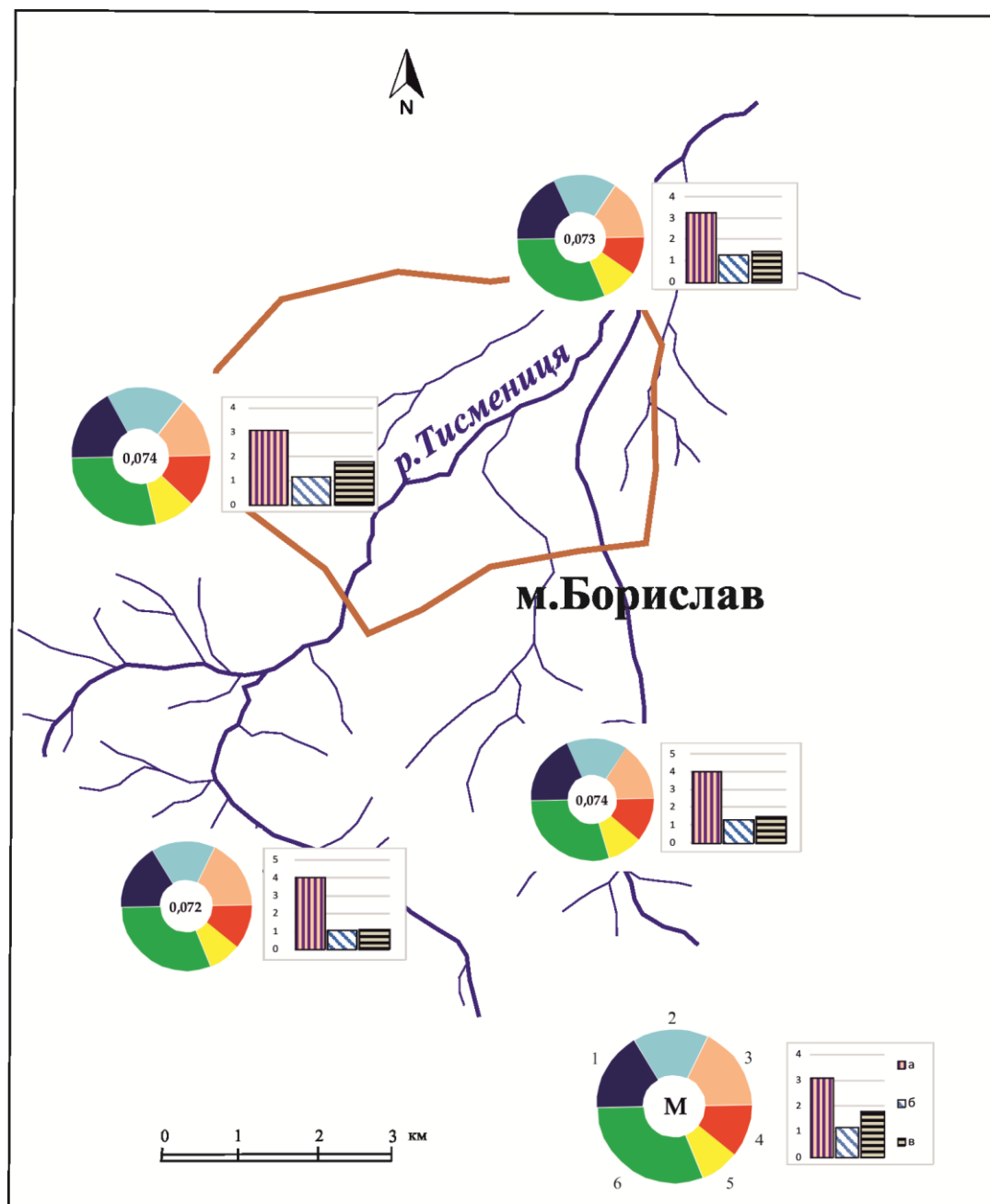


Рис. 3. Характеристика хімічного складу талих вод зі снігу в околицях м. Борислава: 1 – $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, 2 – Ca^{2+} , 3 – Mg^{2+} , 4 – Cl^- , 5 – SO_4^{2-} , 6 – HCO_3^- , М – мінералізація, а – NO_3^- , б – NH_4^+ , в – $\text{Fe}_{\text{заг}}$.

На південний захід від м. Борислав в напрямку Карпатських гір талі води є найменш мінералізованими ($0,072 \text{ мг/дм}^3$), характеризуються найменшим вмістом іон амонію ($1,05 \text{ мг/дм}^3$) та заліза ($1,1 \text{ мг/дм}^3$). Водночас у цій пробі зафіксовано одну з найвищих концентрацій нітратів ($4,012 \text{ мг/дм}^3$). Найбільш мінералізовані талі води зафіксовані нами на південний схід та на північний захід від м. Борислав. У північно-західній околиці м. Борислава встановлено найвищу кількість заліза ($1,78 \text{ мг/дм}^3$). Загалом хімічний склад талих вод зі снігу на цій території є маломінливий і чітких просторових закономірностей нами не встановлено.

Таблиця 1. Гідрохімічна характеристика талих вод зі снігу заходу України.

Об'єкт Досліджуваний показник	Околиці м. Борислав (за даними авторів)	г. Чорногора (за даними [3])	р. Черемош (за даними [14])	ГДК (для питних вод)
Мінералізація, г/л	0,075		0,07	
Сума натрій (Na^+) + калій (K^+), мг/л	8,625	0,463	9,096	до 300
Кальцій (Ca^{2+}), мг/л	6,475	0,22	6,72	не норм.
Магній (Mg^{2+}), мг/л	3,7		2,627	до 80
Хлориди (Cl^-), мг/л	7,275	н/в	7,942	до 250
Сульфати (SO_4^{2-}), мг/л	7,8	0,525	8,374	до 500
Гідрокарбонати (HCO_3^-), мг/л	33,35		34,66	до 300
Нітрати (NO_3^-), мг/л	3,58	0,295	3,64	до 45
Амоній загальний (NH_4^+), мг/л	1,2	0,31	0,752	до 2,0
Залізо загальне ($\text{Fe}_{\text{заг}}$), мг/л	1,45	0,033	1,516	до 0,3

У порівнянні з талими водами снігового покриву Чорногори, досліджені авторами талі води характеризуються значно вищою концентрацією головних іонів та сполук азоту. Вміст усіх макрокомпонентів суттєво відрізняється на ділянці досліджень у порівнянні з Чорногірським масивом. Зокрема, концентрація сульфат-іонів в околицях м. Борислава у 7 разів перевищує вміст цього компоненту у снігу Чорногори, натрію і калію – у 15, іонів кальцію – у 29 разів. Вміст нітратів у водах з околиць м. Борислава у 12 разів, а іонів амонію у 4 рази більші у порівнянні з талими водами Чорногори [3].

Мінералізація талих вод з околиць м. Борислава у 2,3 рази більша у порівнянні з талими водами дослідженими у районі с. Яблуниця у верхів'ї ріки Білий Черемош [14].

Таким чином хімічний склад атмосферних опадів у районі досліджень є відмінним від такого на фонових ділянках Карпатського регіону, що зумовлює необхідність враховувати це під час моделювання різноманітних гідрогеохімічних процесів.

Висновки

1. Мінералізація талих вод з атмосферних опадів в районі м. Борислава коливається від 0,069 до 0,081 г/дм³. Води за хімічним складом хлоридно-гідрокарбонатні магнієво-кальцієво-натрієві. У порівнянні з талими водами з атмосферних опадів у межах заповідних територій Карпатського регіону, досліджені води характеризуються підвищеною мінералізацією та вмістом основних аніонів.

2. Концентрація іон-амонію у метеогенних талих водах коливається від 1,05 мг/дм³ до 1,32 мг/дм³ в середньому становлячи 1,2 мг/дм³, що у 12 разів перевищує фонові значення в районі Чорногори. Вміст нітратів змінюється від 3,078 мг/дм³ до 4,012 мг/дм³ за середнього значення 3,582 мг/дм³, що в 4 рази більше у порівнянні зі концентрацією нітритів у снігах Чорногори.

3. Причиною високої концентрації головних іонів та сполук азоту, очевидно, є значне техногенне навантаження на атмосферу внаслідок діяльності нафтовидобувних та переробних підприємств регіону.

ЛІТЕРАТУРА

1. A global assessment of precipitation chemistry and deposition of sulfur, nitrogen, sea salt, base cations, organic acids, acidity and pH, and phosphorus / Vet R., Artz R.S., Carou S., Shaw M. and other // *Atmos. Environ.* – 2014. № 93. – P. 3–100.
2. *Косовець-Скавронська О.О.* Надходження хімічних речовин з атмосферними опадами на територію України та оцінка їх ролі у формування хімічного складу річкових вод: Автореф. дис...канд. географ. наук: 11.00.07 / Київський національний університет імені Тараса Шевченка. - К., 2010. – 20 с.
3. Distribution of heavy metals in the profile of peat Bog Zhuravlyne (Skolivski Beskydy, Ukrainian Carpathians) as an indicator of changes in chemical composition of air precipitations in historical retrospective / V. Kozlovskyy, M. Skrypnikova, O. Uspenskaya, N. Romanyuk // *Studia Biologica.* – 2010. – Issue 4/№3. – P.81-88.
4. Гірництво й підземні споруди в Україні та Польщі (нариси з історії) / Гайко Г., Білецький В., Мікось Т., Хмура Я. / Донецьк: УКЦентр, Донецьке відділення НТШ, «Редакція гірничої енциклопедії», 2009. — 296 с.
5. *Дригулич П.Г.* Проблеми урбанізованих територій під час розробки нафтогазових родовищ (на прикладі міста Борислава) / Дригулич П.Г., Пукіш А.В. // *Нафтогазова галузь України.* – 2013. – № 2. – С. 44–49.
6. Екологія Львівщини 2014. Львів: Львівська обласна державна адміністрація. Департамент екології та природних ресурсів, 2015. – 126 с.
7. Природа Львівської області / За ред. Геренчука К. І. — Львів, Вид-во ЛДУ, 1972. – 178 с.
8. Метеопост. Електронний ресурс. Режим доступу <http://meteorpost.com>. Назва з екрана.
9. Унифицированные методы исследования качества вод. Справочник. СЭВ Ч.1. - М.: Издательский отдел Управления делами Секретариата СЭВ, 1987. – 1244 с.
10. Методика выполнения измерений массовых концентраций гидрокарбонатных ионов в пробах природных, поверхностных вод суши методом потенциометрического титрования // РД 52.24.24-86. – К.: Міністерство охорони навколишнього природного середовища, 1995. – 12с.
11. Методика фотометричного визначення нітратів з саліциловою кислотою в поверхневих та біологічно очищених водах // КНД 211.1.4.027-95. – К.. Міністерство охорони навколишнього природного середовища, 1995. – 10с.
12. Методика фотометричного визначення нітрит-іонів з реактивом Грісса в поверхневих та очищених стічних водах // КНД 211.1.4.023-95. – К.: Міністерство охорони навколишнього природного середовища, 1995. – 11с.
13. Контроль якості питної води м. Вінниці за вмістом нітратів / В. Г. Петрук, С. М. Кватернюк, І. В. Васильківський [та ін.] // IV-ий Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю (Екологія / Ecology-2013) , 25-27 вересня, 2013 р. : Збірник наукових статей. – Вінниця: Видавництво-друкарня Діло, 2013. – С. 512–513.
14. *Карабин В.В.* Гідрохімія головних іонів вод р. Білий Черемош / Василь Карабин // *Геологія та геохімія горючих копалин.* – 2013. – № 1–2. – С. 101 – 106.

REFERENCES:

1. R.Vet, R. Artz, S. Carou, M. Shaw, Ro C.-U., Aas W., Baker A., Bowersox V.C., Dentener F., Galy-Lacaux C., Hou A., Pien-aar J.J., Gillett R., Forti M.C., Gromov S., Hara H., Khodzher T., Mahowald N.M., Nickovic S., Rao P.S.P., Reid N.W. (2014). A global assessment of precipitation chemistry and deposition of sulfur, nitrogen, sea salt, base cations, organic acids, acidity and pH, and phosphorus. *Atmos. Environ.* – 2014. № 93. – P. 3–100.
2. O. Kosovets'-Skavrons'ka Nadkhodzhennya khimichnykh rehovyn z atmosfernymy opadamy na terytoriyu Ukrayiny ta otsinka yikh roli u formuvannya khimichnoho skladu richkovykh vod: Avtoref. dys...kand. heohraf. nauk: 11.00.07 [Proceeds chemicals from precipitation on the territory of Ukraine and evaluation of their role in the formation of the chemical composition of river water] / K., - 2010. – 20 p. [in Ukrainian].
3. Distribution of heavy metals in the profile of peat Bog Zhuravlyne (Skolivski Beskydy, Ukrainian Carpathians) as an indicator of changes in chemical composition of air precipitations in historical

retrospective / V. Kozlovskyy, M. Skrypnikova, O. Uspenskaya, N. Romanyuk // *Studia Biologica*. – 2010. – Issue 4/№3. – P.81-88.

4. Hirnyts'tvo y pidzemni sporudy v Ukrayini ta Pol'shchi (narysy z istoriyi) [Mining and underground facilities in Ukraine and Poland (Essays on History)] / Hayko H., Bilets'kyi V., Mikos' T., Khmura Ya. Donets'k: UKTsent, Donets'ke viddilennya NTSh, «Redaktsiya hirnychoyi entsyklopediyi», 2009. — 296 p. [in Ukrainian].

5. P. Dryhulych. Problemy urbanizovanykh terytoriy pid chas rozrobky naftohazovykh rodovys'ch (na prykladi mista Boryslava) [The problems of urban areas in the development of oil and gas fields (for example, Borislav City)] / Dryhulych P.H., Pukish A.V. // *Naftohazova haluz' Ukrayiny*. – 2013. – № 2. – P. 44–49. [in Ukrainian].

6. Ekolohiya L'vivshchyny 2014 [Environment of Lviv region 2014]. L'viv, L'vivs'ka oblasna derzhavna administratsiya. Departament ekolohiyi ta pryrodnykh resursiv. – 2015. – 126 p. [in Ukrainian].

7. Pryroda L'vivs'koyi oblasti / Za red. Herenchuka K. I. [Nature of Lviv region] – Lviv, Vyd-vo LDU, 1972. – 178 s. [in Ukrainian].

8. Meteopost. [Meteopost] Elektronnyy resurs. <http://meteopost.com>. [in Ukrainian]

9. Unyfitsirovannyye metody issledovaniya kachestva vod. Spravochnik. [Uniform methods of water quality research. Directory]. SЭV Ch.1. - M.: Yzdatel'skiy otdel Upravleniya delamy Sekretaryata SЭV, 1987. – 1244 s. [in Russian].

10. Metodika vypolneniya izmereniy massovykh kontsentratsiy gidrokarbonatnykh ionov v probakh prirodnykh. poverkhnostnykh vod sushi metodom potentsiometricheskogo titrovaniya [The method for measuring the mass concentration of bicarbonate ions in samples of natural, surface water by potentiometric titration] // RD 52.24.24-86. – K.: Ministerstvo okhorony navkolyshn'oho pryrodnoho seredovys'cha, 1995. – 12 s. [in Russian].

11. Metodyka fotometrychnoho vyznachennya nitrativ z salitsylovoyu kyslotoyu v poverkhnevykh ta biolohichno ochyshchenykh vodakh [Method photometric determination of salicylic acid nitrates in surface water and biologically treated] // KND 211.1.4.027-95. – K.: Ministerstvo okhorony navkolyshn'oho pryrodnoho seredovys'cha, 1995. – 10s. [in Ukrainian].

12. Metodyka fotometrychnoho vyznachennya nitryt-ioniv z reaktivom Hrissa v poverkhnevykh ta ochyshchenykh stichnykh vodakh [Methods photometric determination of nitrite ions with a reagent Hrissa surface and treated wastewater] // KND 211.1.4.023-95. – K.: Ministerstvo okhorony navkolyshn'oho pryrodnoho seredovys'cha, 1995. – 11s. [in Ukrainian].

13. Kontrol' yakosti pytnoyi vody m. Vinnytsi za vmistom nitrativ [Quality control of drinking water in Vinnytsia of nitrates] / V. H. Petruk, S. M. Kvaternyuk, I. V. Vasylykivskyy et al. // IV-yy Vseukrayins'kyi z'yizd ekolohiv z mizhnarodnoyu uchastyu (Ekolohiya/Ecology-2013), 25-27 veresnya, 2013 r.: Zbirnyk naukovykh statey. – Vinnytsya: Vydavnytstvo-drukarnya Dilo, 2013. – S. 512–513. [in Ukrainian].

14. V. Karaby'n Hidrokimiya holovnykh ioniv vod r. Bilyy Cheremosh [Hydrochemistry of the main ions of the Wite Cheremosh river]. Heolohiya ta heokhimiya horyuchykh kopalyn. – 2013. – № 1–2. – P. 101 – 106. [in Ukrainian].

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ В ОКРЕСТНОСТЯХ г. БОРИСЛАВА

Карабын В.В., Рак Ю.Н.

Карабын В. В. канд. геол. н., заведующий кафедрой экологической безопасности, Львовский государственный университет безопасности жизнедеятельности, vasyl.karabyn@gmail.com.

Рак Ю. Н. адъюнкт, Львовский государственный университет безопасности жизнедеятельности, julia.rak.1993@mail.ru

Осуществлена оценка химического состава атмосферных осадков на территории одного из старейших нефтепромысловых районов Европы – Бориславском, выявлены его особенности для дальнейшего моделирования миграции загрязняющих веществ в гидросфере. Установлено, что минерализация талых вод из снега в пределах г. Борислав колеблется от 0,073 г/дм³ до 0,081 г/дм³ при среднем значении 0,075 г/дм³. По химическому составу талые воды хлоридно-гидрокарбонатные магниевые-кальциевые-натриевые. Содержание ионов аммония в среднем составляет 1,2 мг/дм³, нитратов – 3,582 мг/дм³. Наименее минерализованные (0,072 мг/дм³) и с низкой концентрацией ион аммония (1,05 мг/дм³) и

железа ($1,1 \text{ мг/дм}^3$) осадки обнаружены нами на юго-западной окраине г. Борислав в направлении Карпатских гор. В то же время на этом участке зафиксировано одну из самых высоких концентраций нитратов ($4,012 \text{ мг/дм}^3$). Наиболее минерализованные талые воды зафиксированы на юго-восточнее и северо-западнее г. Борислав. В общем, химический состав талых вод из снега на этой территории исследований малоизменчив. По сравнению с талыми водами снежного покрова фоновых участков Карпат, исследованные авторами, пробы снега характеризуются значительно более высокой концентрацией главных ионов и соединений азота. Причиной высокой концентрации главных ионов и соединений азота, вероятно, является значительная техногенная нагрузка на атмосферу в результате деятельности нефтедобывающих и перерабатывающих предприятий региона.

Ключевые слова: снег, химический состав атмосферных осадков, макрокомпоненты, главные ионы, ион-аммония, нитраты, г. Борислав, р. Тисьмениця.

CHEMICAL COMPOSITION OF PRECIPITATION IN BORYSLAV AREA

V. Karabyn, Yu. Rak

V. Karabyn Ph.D (Geology), Head of Department, Lviv State University of Life Safety, vasyi.karabyn@gmail.com.

Yu. Rak Doctoral Student, Lviv State University of Life Safety, julia.rak.1993@mail.ru

Chemical composition of precipitation on the territory of one of the oldest oilfield areas in Europe – Boryslav oilfield area has been estimated in the present research paper. Its features for further modelling of pollutants migration in the hydrosphere and lithosphere have been found. It has been established that mineralization of melt water from snow within the territory of Boryslav oilfield area ranges from $0,073 \text{ g/dm}^3$ to $0,081 \text{ g / dm}^3$ while mean value is $0,075 \text{ g/dm}^3$. Meltwater consists of the following chemical elements: chloride-hydrocarbonate, magnesium, calcium and sodium. An average content of ammonium ions is 1.2 mg/dm^3 , nitrates – 3.582 mg/dm^3 . Precipitations in the south-western part of Boryslav area towards the Carpathian Mountains are the least mineralized (0.072 mg/dm^3) and have the lowest concentration of ammonium ion (1.05 mg/dm^3) and iron (1.1 mg/dm^3). Meanwhile, one of the highest concentrations of nitrates ($4,012 \text{ mg/dm}^3$) was detected in this region. The most mineralized melt waters are in the southeast and northwest parts of Boryslav area. In general, the chemical composition of melt waters from snow in this area of research is hardly varying. In comparison with melt waters from snow cover in Carpathians, examined by the authors, snow samples are characterized by significantly higher concentrations of major ions and nitrogen compounds. In particular, the concentration of sulfate ions is 7 times higher than in samples from Chornohora mountain range, sodium and potassium – 15, calcium – 29 times. The nitrate concentration in melt waters from Boryslav is 12 times higher and ammonium ions concentration is 4 times higher as compared to melt waters in Chornohora. The mineralization of melt waters from Boryslav area is 2.3 times higher as compared to melt waters studied near Yablunytsia village on the upper reaches of the Bilyi Cheremosh River. The reason for the high concentration of major ions and nitrogen compounds is, probably, significant human impacts on the atmosphere resulting from activity of oil producing and processing enterprises of the region.

Key words: snow, chemical composition of precipitation, macrocomponents, major ions, ammonium ions, nitrates, Boryslav, the Tysmenytsia river.

УДК 629.5.068.4

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МЕНЕДЖМЕНТ ПРЕДПРИЯТИЙ ПО УТИЛИЗАЦИИ МОРСКИХ СУДОВ

Пизинцали Л. В., Шахов А. В.

Пизинцали Л. В. канд. т. н., докторант Одесского национального морского университета, ludapiza@i.ua.
Шахов А. В. докт. т. н., проректор Одесского национального морского университета, avshakhov@yandex.ua.

Статья посвящена совершенствованию методологии основ управления проектно-ориентированными организациями путем внедрения на них системы экологического менеджмента. В последние годы наблюдается резкое сокращение жизненного цикла морских судов, следствием чего является значительное увеличение потребностей в предприятиях по их утилизации. Международная морская организация и Европейский союз, понимая особенности производственных процессов утилизации судов, уделяют пристальное внимание обеспечению безопасных условий труда, контролю над состоянием окружающей среды, включая надлежащее управление отходами производства и внедрению международных норм трудового права. В исследовании предложена модель системы экологического менеджмента утилизационного предприятия на основе цикла Шухарта-Демминга. Разработан метод формирования эффективного портфеля проектов организации с учетом ограничений по значениям степени загрязнения атмосферы, морской воды и сточных вод от реализации того или иного проекта.

Ключевые слова: экологический менеджмент, экологический паспорт проекта, зеленый паспорт судна, портфель проектов.

Введение и постановка проблемы

Стремительное развитие мировой экономики в последние десятилетия привело к значительному сокращению жизненного цикла сложных технических систем. Аналогичный тренд наблюдается и в мировом судоходстве [1]. Так, если еще недавно многие судоходные компании с успехом эксплуатировали суда, возраст которых составлял 30 и более лет, то после кризиса 2009 года встретить на рынке морских перевозок судно старше 10 – 15 летнего возраста довольно сложно.

Главная причина таких изменений в политике судовладельцев – экономическая. По величине эксплуатационных затрат «старые» суда становятся неконкурентоспособными (большие расходы горюче-смазочных материалов, численность экипажа, ремонтные затраты и прочее). Кроме того, исследования, проведенные Международной морской организацией [2], показали возрастающее число аварий судов, возраст которых превышает двадцать лет. Для сохранения необходимого уровня безопасности мореплавания ужесточаются конвенционные требования, соблюдение которых требует от судовладельцев дополнительных финансовых затрат на проведение работ по модернизации и переоборудованию. Таким образом, вывод из эксплуатации «старых» судов и их замена новыми соответственно является естественным коммерческим процессом, направленным на повышение эксплуатационной эффективности, снижение уровня морского риска и как следствие – повышение безопасности мореплавания.

Сокращение эксплуатационного периода работы судна привело к обострению новой проблемы – отсутствию эффективных методов утилизации. Проблема утилизации различного типа судов и кораблей не решена по сегодняшний день, несмотря на пристальное внимание, которое ей уделяется на протяжении последних десятилетий. Доказательством отсутствия эффективного решения в данном вопросе является отсутствие утилизационных предприятий в развитых странах и продолжающаяся практика продажи старых судов на лом в страны Юго-Восточной Азии. При этом большинство специалистов справедливо полагают, что основным недостатком существующих технологических методов утилизации является

их низкая экологичность и, как следствие, вред, наносимый данным производством окружающей среде.

Актуальность темы. Актуальность данного исследования подтверждает пристальное внимание, уделяемое данному вопросу в последние годы странами ЕС. Так, в ноябре 2013 года Европарламентом принят Регламент № 1257/2013 по утилизации судов [3]. В январе текущего года Европейская комиссия опубликовала техническое руководство по средствам утилизации судов [4]. Согласно этому документу, чтобы получить одобрение ЕС на утилизацию судов, необходимо обеспечить безопасные условия труда, контроль состояния окружающей среды, включая надлежащее управление отходами производства и внедрение международных норм трудового права. Учитывая, что «суда, плавающие под флагом ЕС, будут обязаны использовать верфь, одобренную ЕС» [5], очевидно, насколько выгодно было бы для судостроительных и судоремонтных предприятий Украины попасть в перечень утилизационных предприятий, одобренный Европейским Союзом.

Украинская экономика получила в наследство одну из крупнейших в мире судоремонтную базу, включающую десятки судоремонтных и судостроительных заводов, баз технического обслуживания флота, доков, специализированных научно-исследовательских и проектно-конструкторских институтов, учебных заведений. Кризис последних десятилетий практически полностью разрушил судоходный бизнес, что не могло не сказаться на состоянии судоремонта. Однако по сей день остались избыточные производственные мощности, невостребованные высококвалифицированные специалисты, оригинальные технологии восстановления судовых технических средств и судовых конструкций. Заказы по утилизации судов могут стать той сферой деятельности, которая позволит сохранить отрасль, особенно если принять во внимание отсутствие конкуренции в этом бизнесе в Средиземно-Черноморском регионе. Данную идею нельзя считать новой. Еще в 90-х годах прошлого века Украинский научно-исследовательский институт морского флота разрабатывал теоретические основы утилизации судов, судоремонтными заводами выполнялись одиночные заказы по утилизации небольших судов и массивных металлоконструкций. Однако эффективность этих проектов оказалась недостаточной и продолжение таких работ признано практиками нецелесообразным. По нашему мнению, такой результат является следствием недостаточной научной проработки проблемы управления состоянием окружающей среды от воздействия на нее производств различных типов и, особенно, утилизационных предприятий.

Анализ последних исследований и публикаций. За последние годы в мировой практике произошли глубокие качественные изменения в системе организации и управления природопользованием и охраны окружающей среды.

Суть происходящих изменений в подходах к решению экологических проблем заключается в постепенном отказе от преобладания традиционных методов управления и переходе к современным рыночным механизмам экологического регулирования. Характерными особенностями данного процесса являются [6]:

- возростание экологической ответственности предприятий;
- переход предприятий в решении экологических проблем от пассивной позиции к более активной;
- расширение границ инициативной экологической деятельности предприятий;
- установление прямой взаимосвязи экологической деятельности с возможностями привлечения инвестиций, развитием производства, экономией и сбережением ресурсов, снижением потерь, повышением качества продукции и ее конкурентоспособностью;
- максимальное использование беззатратных и малозатратных методов и средств для решения экологических проблем;
- открытая демонстрация предприятием экологических целей, задач и достигнутых в соответствии с ними результатов, включая и отрицательные;

- активное сотрудничество со всеми заинтересованными в экологических аспектах деятельности предприятия лицами и сторонами.

Предметом экологического менеджмента является процесс управления современным производством, которое обеспечивает сочетание эффективного производства с не менее эффективным и рациональным использованием природных ресурсов, с охраной окружающей среды (ОС), в том числе среды обитания человека [7]. Общей целью экологического менеджмента является гармоничное сосуществование человека, общества и природы, при котором удовлетворяются жизненные потребности нынешних поколений без ущерба для будущих [8].

Базовым международным стандартом в области экологического менеджмента является стандарт ISO 14001:2004 «Environmental management system. Specification with guidance for use». Он является единственным официальным международным документом, содержащим требования, выполнение которых может быть проверено при помощи аудита внешней организацией для сертификации [9]. Соответствие стандартам ISO 14001 позволяют создать систему управления охраной окружающей средой, пригодную для независимой оценки соответствия определенным критериям подтвержденного сертификатом, который удостоверяет наличие надлежащей системы управления охраной окружающей среды на предприятии [10, 11]. Без внедрения эффективной системы экологического менеджмента, как составной части общей системы управления, эффективная работа утилизационного предприятия не представляется возможной. При этом, с учетом особенностей технологических процессов утилизации и мнения многих экспертов [12], оптимальной системой управления такими производствами является проектно-ориентированное управление.

Постановка цели и задач. Целью данной статьи является разработка системы экологического менеджмента утилизационного предприятия, как проектно-ориентированной компании.

Результаты исследования и их обсуждение

Современная концепция проектного управления заключается в идее создания организаций, развитие, изменение деятельности, а иногда и сама деятельность которых может быть представлена как совокупность различных проектов, обеспечивающих достижение в совокупности стратегических целей. Такие организации более конкурентоспособны по отношению к вертикально интегрированным предприятиям с их функциональной организацией деятельности [13].

Организация, источником существования которой являются проекты, как уникальная совокупность ограниченных по времени действий по созданию новых продуктов и услуг называется проектно-ориентированной организацией (ПОО) [14]. Другими словами, проектно-ориентированные организации осуществляют свои производственные задачи, прежде всего в виде выполнения множества отдельных проектов, которые могут начинаться, выполняться и завершаться параллельно, создавая конфликтную ситуацию по использованию ресурсов компании [13].

Изменение системы управления организации на проектно-ориентированную открывает перед ней широкие возможности для развития, а именно [15]:

- позволяет гибко и быстро менять структуру организации: выходить на новые рынки с новыми продуктами, выводить из состава предприятия неэффективные структуры;
- повышает рентабельность проектов, за счет снижения затрат на исполнение и управление проектами, а значит повышает эффективность бизнеса в целом;
- обеспечивает исполнение только выгодных для организации проектов;
- существенно повышает результативность незадействованных напрямую в проектной деятельности подразделений;
- снижает риски и неопределенность при выполнении новых проектов;

- обеспечивает более эффективную и производительную работу предприятия благодаря выработке лучших поведенческих принципов у менеджмента и исполнителей проектов;
- позволяет выполнять большее количество проектов за то же время, за счет оптимизации распределения ресурсов;
- увеличивает конкурентоспособность организации.

Существующие модели и методы управления проектно-ориентированными организациями сводятся к формированию оптимального портфеля проектов и его последующей реализации. В качестве критерия оптимизации выступает, как правило, показатель экономической эффективности (NPV, IRR, дисконтированная прибыль), а ограничения определяются ресурсными возможностями предприятия. Экологические характеристики производства в подавляющем большинстве случаев не учитываются.

Экологический менеджмент на уровне предприятия – это система управления производственными процессами, направленная на достижение баланса между экономическими и экологическими показателями деятельности предприятия. Концепция экологического менеджмента на предприятии – это комплекс ключевых положений, определяющих организацию экологической деятельности на предприятии. Целью экологического менеджмента является обеспечение экологической безопасности и рентабельности предприятия на основе эко сбалансированного развития.

В основе системы экологического менеджмента (СЭМ) предприятия лежит модель, известная в теории управления как цикл Шухарта-Деминга (рис. 1). Из рисунка видно, что создание и совершенствование СЭМ последовательно проходит несколько важных этапов, каждый из которых решает определенные задачи, требует различных ресурсов (материальных, финансовых, информационных, временных, человеческих и т.д.), характеризуется результативностью. Совершенно очевидно, что ядром процесса является – внедрение. Однако не менее значимы и другие этапы цикла:

- планирование, в результате реализации которого, идентифицируются основные экологические аспекты деятельности предприятия и появляется детальная программа СЭМ;
- мониторинг - этап, позволяющий вовремя определить и исправить ошибки;
- анализ со стороны руководства, выводы которой используются для совершенствования системы и отдельных ее элементов.

Информационной основой системой экологического менеджмента являются экологические балансы предприятия, которые представляют собой экологически ориентированный учет материальных и энергетических потоков.

На микроуровне экологические балансы применяются для фиксирования и последующей оценки воздействия на окружающую среду осуществляемых на предприятии процессов трансформации энергии и материалов. В полном объеме экологические балансы состоят из следующих трех, основывающихся друг на друге, конструкций:

- *баланс материалов и энергии в узком смысле (предметный баланс)*. С его помощью осуществляются представление и анализ совокупных входных и выходных потоков производственной системы предприятия, данные которого, в частности, используются при разработке его экологической политики;
- *баланс последствий*. На базе предметного баланса представляются и анализируются экологические, экономические и общественные воздействия. В их числе, например, воздействия эмиссии газообразных веществ на атмосферный воздух, воду, землю, флору, фауну близлежащих или отдаленных районов; воздействие забора воды на локальные и региональные водные системы (при этом в отдельных случаях наряду с первичными последствиями могут также фиксироваться вторичные последствия, или даже цепи следствий);
- результаты баланса последствий должны быть подвергнуты балансовой оценке с целью определения областей и приоритетов хозяйственной активности, что, в свою очередь,

может быть сделано посредством сравнений план-факт (при установлении нормативных/плановых показателей должны быть учтены максимально допустимые величины, уровень развития науки и техники и т. п.).

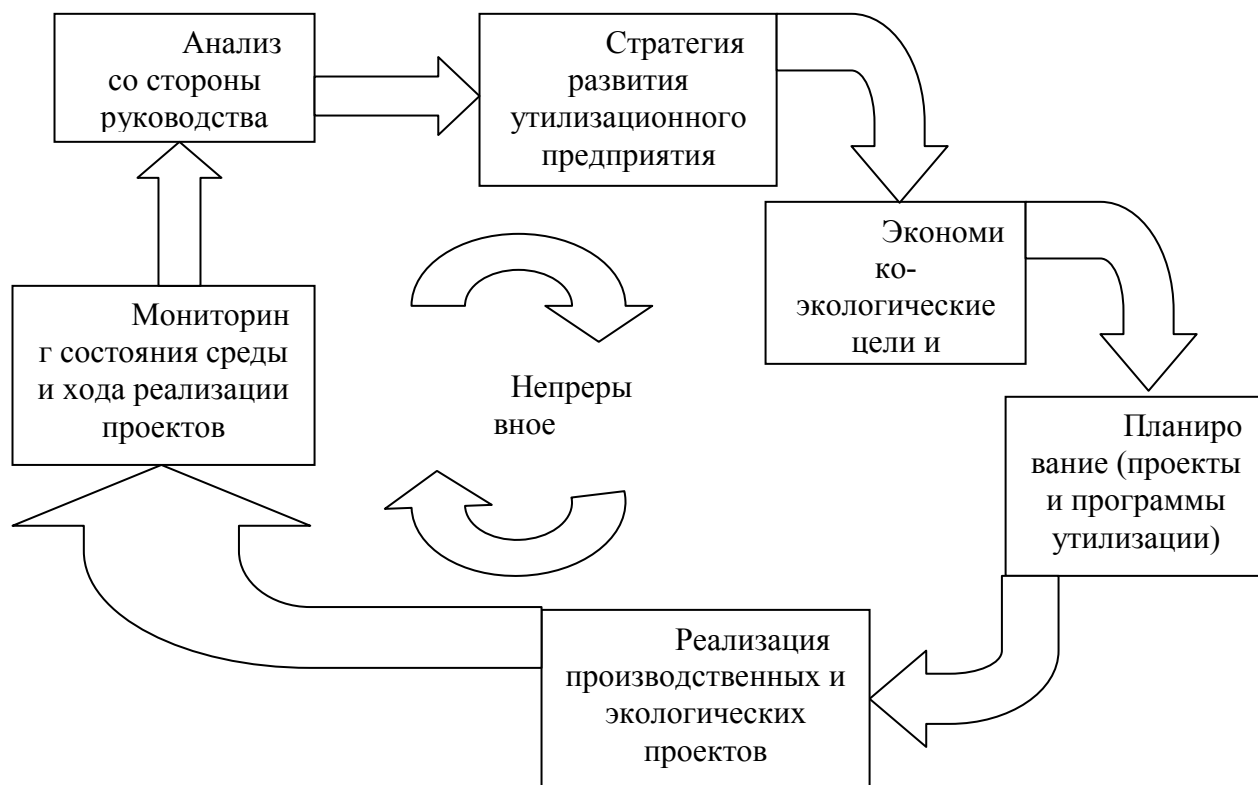


Рис. 1. Модель системы экологического менеджмента утилизационного предприятия

Система экологического менеджмента, используемая в различных странах, рекомендует использование экологических паспортов предприятия и его подразделений – документов, включающих данные по использованию природных и вторичных ресурсов и информацию о влиянии хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду.

Экологический паспорт предназначен для:

- осуществления государственного контроля по соблюдению нормативов в области охраны окружающей среды, в том числе технологических нормативов, и иных требований в области охраны окружающей среды;
- комплексного учета используемых природных и вторичных ресурсов; — определения уровня влияния производства на окружающую среду;
- определения соответствия уровня производства наилучшим доступным техническим методам.

В случае утилизационного проектно-ориентированного предприятия нам видится целесообразным разрабатывать экологический паспорт каждого из проектов в отдельности. Суммарное загрязнение атмосферного воздуха от выбросов предприятия характеризуется безразмерным показателем категории опасности предприятия (КОП), который может быть определен по формуле:

$$КОП = \sum_{i=1}^n \left(\frac{M_i}{ПДК} \right)^{a_i},$$

где n – количество загрязняющих веществ, выбрасываемых предприятием;

M_i – приведенная к суткам масса выброса i -го вещества, мг/сутки;

$ПДК$ – среднесуточная допустимая концентрация i -го вещества, мг/м³;

a_i – безразмерная константа, позволяющая соотнести степень вредности i -го вещества с вредностью диоксида серы. Для первого класса опасности вещества – a равно 1,7; для второго – 1,3; для третьего – 1,0; для четвертого – 0,9.

Комплексным показателем загрязненности атмосферы является индекс загрязненности атмосферы, который рассчитывается для группы веществ и учитывает комбинированное действие вредных веществ по типу неполной суммы и их класс опасности:

$$ИЗА = \sum_{i=1}^n \left(\frac{C_i}{ПДК_i} \right)^{a_i}$$

где $ПДК_i$ – среднегодовая (среднесуточная) предельно допустимая концентрация загрязняющего вещества в атмосферном воздухе;

C_i – среднегодовая концентрация загрязняющего вещества в атмосферном воздухе в воздухе над территорией, для которой оценивается воздействие, мг/м³;

a_i – безразмерная константа, позволяющая соотнести степень вредного i -го вещества с вредностью диоксида серы.

Степень загрязненности морской воды и сточных вод характеризуется совокупностью физических, химических, биологических и бактериологических показателей. К ним относятся: температура; запах; цветность; pH; концентрация взвешенных веществ; сухой и прокаленный остаток, выражающий общее содержание растворенных веществ и их минеральную часть; БПК и ХПК (биологическое и химическое потребление кислорода), характеризующие концентрацию органических веществ; содержание компонентов, специфичных для данного вида производства, например фенолов, формальдегида и др.

$$ИЗВ = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{C_i}{ПДК_i} \right)$$

где $ПДК_i$ – предельно допустимая концентрация для соответствующего водного объекта;

C_i – среднегодовая концентрация вещества, мг/л;

N – количество показателей, по которым рассчитывается индекс.

Методологической и нормативной основой, регламентирующей экологические требования к работе утилизационного предприятия, является Руководство ИМО по утилизации судов (Резолюция А. 962 (23)) [16]. Руководство предполагает обязательное ведение судном в течение всего жизненного цикла своего «зеленого паспорта». «Зеленый паспорт» судна является документом, содержащим информацию в отношении материалов, известных как потенциально опасные и используемых в конструкции судна, его оборудовании и схемах. Данный документ должен сопровождать судно на протяжении всего его жизненного цикла и являться базовым документом в процессе разработки плана утилизации судна.

«Зеленый паспорт» должен содержать общие сведения о судне и кадастр материалов, известных как потенциально опасные, содержащий сведения о местонахождении и приблизительном количестве/объеме каждого выявленного материала на судне, который состоит из следующих частей:

- 1) потенциально опасные материалы в конструкции и оборудовании судна;
- 2) отходы, образующиеся во время эксплуатации;
- 3) запасы.

Первая часть кадастра потенциально опасных материалов должна подготавливаться:

- для новых судов – судостроителем, по консультации с изготовителями оборудования, на стадии постройки и передаваться собственнику судна;
- для существующих судов – собственником судна, посредством ссылки на судовые планы, чертежи, руководства, технические требования и манифесты судовых запасов, по

консультации с судостроителем, изготовителями оборудования и другими соответствующими сторонами.

Вторая и третья части должны подготавливаться собственником судна до последнего рейса судна к утилизационному предприятию.

В работе [1] представлена схема процесса утилизации судна от доставки его в утилизационное предприятие до реализации всех «остатков». Основной фазой данного процесса является разработка проекта утилизации судна, при создании которого базовым документом должен стать судовой «зеленый паспорт».

Данный документ должен сопровождать судно на протяжении всего его жизненного цикла и являться базовым документом в процессе разработки плана утилизации судна.

Кроме разработки экологических паспортов отдельных проектов, утилизационное предприятие разрабатывает «фоновый паспорт предприятия», который учитывает загрязнение окружающей среды, вызываемое технологическими процессами компании, не связанными с непосредственной утилизацией того или иного судна.

Такой подход позволит в процессе формирования оптимального портфеля проектов учитывать в качестве ограничений не только располагаемые ресурсы, но и последствия того или иного проекта для окружающей среды. Кроме того, экологические паспорта проектов позволят оптимизировать технологические процессы резки корпусных конструкций судов с учетом их воздействия на состояние атмосферы, акватории и сточных вод.

Выводы и перспективы дальнейших исследований

1. Утилизация судов – перспективное направление деятельности для украинских судостроительных и судоремонтных предприятий, которая может позволить им выйти из кризисного состояния.

2. В последние годы пристальное внимание уделяется экологическим проблемам странами ЕС. В 2013 году Европарламентом принят Регламент № 1257/2013 по утилизации судов, в 2014 году Европейская комиссия опубликовала техническое руководство по средствам утилизации судов. Все эти документы направлены на обеспечение безопасных условий труда, контроля за состоянием окружающей среды, включая надлежащее обращение с отходами производства и внедрение международных норм трудового права. А также введение системы лицензирования утилизационных предприятий и запрета для судовладельцев утилизировать свои суда на заводах, которые не отвечают лицензионным требованиям.

3. Эффективная работа утилизационного предприятия возможна в случае внедрения на нем методологии портфельного управления с элементами системы экологического менеджмента.

4. В основе системы экологического менеджмента предлагается использовать экологические паспорта, разрабатываемые на каждый проект утилизационный проект в отдельности. В качестве параметров оценки состояния среды используются индексы загрязненности атмосферы, морской воды и сточных вод. Эти параметры могут выступать в качестве ограничений в процессе формирования портфеля проектов утилизационного предприятия и выборе оптимальной технологии разделки корпусных конструкций.

5. Внедрение представленных исследований позволит провести сертификацию отечественных предприятий на предмет соответствия требованиям Стандартов ИСО серии 14000 и войти в перечень одобренных ЕС утилизационных предприятий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пизинцали Л.В., Шахов А.В. Управление стоимостью жизненного цикла судна: Монография / Л.В. Пизинцали, А.В. Шахов. – Херсон: ФОП Гринь Д.С., 2016. – 124 с.
2. Резолюция А.962(23). Руководство ИМО по утилизации судов (Приложение). – 2003. – 283 с.
3. Регламент ЕС № 1257/2013. Утилизация судов //Электронный ресурс: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2013:330:0001:0020:EN:PDF>

4. Евросоюз установил глобальный стандарт утилизации судов //Электронный ресурс: <http://cfts.org.ua/29.04.2016>
5. Черп О., Виниченко В. ISO 14000 – международные стандарты в области экологического менеджмента. Методический центр «Эколайн». – Эколайн.: Москва, 1999. – 26 с.
6. С. Е. Дерягина, О.В.Астафьева, М.Н.Струкова, Л.В.Струкова. Экологический менеджмент на предприятии. Екатеринбург: ИПЭ УрО РАН - УГТУ УПИ, 2007. – 144 с.
7. Игнатов В. Г., Кокин А. В. Экология и экономика природопользования. – Ростов н/Д: изд-во «Феникс», 2003. – 512 с. (Серия высшее образование).
8. Boons Fr., Berens M. Stretching the boundary: the possibilities of flexibility as an organizational capability in industrial ecology//Business Strategy and the Environment. 2001. – №10. – P. 115 – 124
9. Пашков Е.В., Фомин Г.С., Красный Д.В. Международные стандарты ИСО 14000. Основы экологического управления. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1997. – 464 с.
10. Хениш Ш, Рихтер К., Струкова М., Сафронов Е. Осуществление государством требований международного стандарта по экологическому менеджменту – путь стабилизации экономики предприятия//Безопасность биосферы. Сборник научных трудов. Екатеринбург: УГТУ-УПИ. 2001. –С. 11 – 17
11. Развитие систем экологического менеджмента в России. Материалы международной конференции. М.: Эколайн, 2001. – 87 с.
12. Бабина Ю. В. Экологический менеджмент/Ю.В.Бабина, Э.А. Варфоломеева. М.:ИД «Социальные отношения»: Изд-во «Перспектива», 2002.
- 13 Керівництво з питань проектного менеджменту Пер. Англ. / Під ред. С.Д. Бушуєва. – 2-е вид., перероб. – К.: Деловая Украина, 2000. – 198 с.
14. Шапов А.В, Шахов А.В. Модель энергетического баланса в управлении проектно-ориентированными организациями // 36. наук. праць «Вісник»: ОНМУ, 2014. – № 38. – С. 125 – 133.
15. Бушуева Н.С. Модели и методы проактивного управления программами организационного развития: Монография /Н.С. Бушуева. // – К.: Наук. світ, 2007. – 200 с.
16. Резолюция МЕРС.196(62). Руководство 2011 года по разработке плана разделки судна. – Сб. 44 Резолюций ИМО, 2011.

REFERENCES

1. L. Pizinčali, A. Shakhov Upravlenie stoimostyu gisnennogo zicla sudna: Monografija / L.V. Pizincali, A.V. Shahov. – Herson: FOP Grin' D.S., 2016. – 124 s.. [in Russian].
2. Rezolucia IMO A.963(23). Rucovodstvo IMO po utilizacij sudov (Prilogenie). [IMO Guidelines on Ship Recycling (Appendix)]. – 2003. – 283 s. [in Russian].
3. Reglament EC № 1257/2013. Utilizacia sudov [EU Regulations № 1257/2013 Ship Recycling]. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2013:330:0001:0020:EN:PDF> [in Russian].
4. Evrosoyuz ustanovil globalniy standart utilizacii sudov [The European Union has set the global standard for ship recycling]. <http://cfts.org.ua/29.04.2016> [in Russian].
5. O. Tcherp, V. Vinitchenko ISO 14000 – megdunarodnye standarty v oblasti ekologitcheskogo menegmenta [ISO 14000 – the international standard for environmental management]. Metodicheski shentr «Ekolain». Ekolain. Moskwa, 1999. – 26 s. [in Russian].
6. S. Deryagina, O. Astafeva, M. Syrukova, L. Strukova. Ekologitcheskiy menegment nf predpriyatii. [Environmental management on the enterprise] //Ekaterinbug: IPE URO RAS - USTU UPI, 2007, – 144 p. [in Russian].
7. V. Ignatov, A. Kokin Ekologia i economica prirodopolzovaniya. [Ecology and environmental economics]/ – Rostov n/D: izd-vo «Feniks», 2003. – 512 s. (Serija «Vyssee obrazovanie»). [in Russian].
8. Fr. Boons, M. Berens Stretching the boundary: the possibilities of flexibility as an organizational capability in industrial ecology//Business Strategy and the Environment. 2001. №10.P.115-124 [in English]
9. E. Pashkov, G. Fomin, D. Krasniy Megdunarodnye standarty ISO 14000. Osnovy ekologitcheskogo upravlenia. [International standards ISO 14000 Fundamentals of Environmental Management]. – М.: IPK Izdatel'stvo standartov, 1997. – 464 s. [in Russian].

10. S. Hensh, K. Richter, M. Strukova, E. Safronov Osushtchestvlenie gosudarstvom trebovaniy megdunarodnogo standarta po ekologicheskemu menegmentu – put stabilizacii ekonomiki predpriyziya [Implementation of the state requirements of the international standard for environmental management - the path of stabilization in business economics]. Bezopasnost' biosfery. Sbornik nauchnyh trudov. Ekaterinburg: УГТУ-УПИ, 2001. s. 11 – 17 [in Russian].
11. Razvitie system ekologicheskogo menegmenta v Rossii. Materialy megdunarodnoy konferencii. [Development of environmental management systems in Russia. Proceedings of International Conference]. – М.: Yekolain, 2001, 87 s. [in Russian].
12. Y. Babina Ekologicheskiy menegment [Environmental management] // YU.V.Babina, Ye.A. Varfolomeeva. M.:ID «Social'nye otnosheniya»: Izd-vo «Perspektiva», 2002. – 142 s. [in Russian].
13. S. Bushuev Kerivnyztvo z pytan proektnogo menegmentu [Guidance on Project Management]. 2-e izd. pererab. – К.: Delovaya Ukraina, 2000. – 198 s. [in Ukrainian]
14. A. Shamov, A. Shakhov Model energeticheskogo balansa v upravlenii proektno-orientirovannymi organizatsiyami [Model balance power machinery in the design and management of the project's organization]. Zb. nauk. hrac' Vestnik ONMU, 2014. – № 38. – S. 125 – 133. [in Russian].
15. Bushueva N.S. Modeli i metody proaktivnogo upravleniya programmami organizatsionnogo razvitiya [Models and methods for proactive management organizational development programs]. Monografiya / N.S. Bushueva // – К.: Nauk. svit, 2007. – 200 s. [in Russian].
16. Rezolyuciya MERS.196(62). Rukovodstvo 2011 goda po razrabotke plana razdelki sudna. – Sb. 44 Rezolyucii IMO. –86 s. [in Russian].

ЕКОЛОГІЧНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ ПІДПРИЄМСТВ ПО УТИЛІЗАЦІЇ МОРСЬКИХ СУДЕН

Пізнцалі Л. В., Шахов А. В.

Пізнцалі Л. В. канд. т. н., докторант Одеського національного морського університету, ludapiza@i.ua.

Шахов А. В. докт. т. н., проректор Одеського національного морського університету, avshakhov@yandex.ua.

Стаття присвячена вдосконаленню методології основ управління проектно-орієнтованими організаціями шляхом впровадження на них системи екологічного менеджменту. В останні роки спостерігається різке скорочення життєвого циклу морських суден, наслідком чого є значне збільшення потреб в підприємствах по їх утилізації. Міжнародна морська організація та Європейський союз, розуміючи особливості виробничих процесів утилізації суден, приділяють пильну увагу забезпеченню безпечних умов праці, контролю над станом навколишнього середовища, включаючи належне управління відходами виробництва і впровадження міжнародних норм трудового права. У дослідженні запропонована модель системи екологічного менеджменту утилізаційного підприємства на основі циклу Шухарта-Деммінга. Розроблено метод формування ефективного портфеля проектів організації з урахуванням обмежень за значеннями ступеня забруднення атмосфери, морської води і стічних вод від реалізації того чи іншого проекту.

Ключові слова: екологічний менеджмент, екологічний паспорт проекту, зелений паспорт судна, портфель проектів.

ENVIRONMENTAL MANAGEMENT OF ENTERPRISES FOR RECYCLING FACILITY OF MARINE VESSELS

L. Pizintsali, A. Shakhov

L. Pizintsali Ph.D. (Tech.), Doctoral Student of Odessa National Maritime University, ludapiza@i.ua.

A. Shakhov D.Sc. (Tech.), vice-rector of the Odessa National Maritime University, avshakhov@yandex.ua.

The article is devoted to the improvement of management based on the methodology of design-oriented organization by introducing them to the environmental management system. In recent years there has been a sharp reduction in the life cycle of marine vessels, resulting in a significant increase in demand for

enterprises at their disposal. The International Maritime Organization and the European Union, especially understanding of production processes Recycling of Ships, pay close attention to ensuring safe working conditions and control over the environment, including proper management of industrial waste and the implementation of international labor law. The study proposed a model of environmental management systems for recycling facility based on Shewhart-Demming cycle. A method of forming an effective portfolio of organization projects subject to the restrictions on the values of the degree of pollution of the atmosphere, sea water and waste water from the implementation of a project.

Keywords: *environmental management, environmental project passport, vessel green passport, portfolio.*

УДК 550.4:504:544.4

КІНЕТИКА ВИЛУГОВУВАННЯ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ ЗІ ШЛАМУ МЕТАЛУРГІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА.**Мещеряков С. В., Долін В. В.**

Мещеряков С. В. аспірант ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», mescheriakov@mail.ua

Долін В. В. докт. геол. наук, професор, ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», vdolin@ukr.net

У статті наведено результати експериментального дослідження хімічного складу, водно-фізичних і фільтраційних властивостей металургійного шламу, та процесів водного вилугування з нього важких металів з метою оцінки екологічної небезпеки забруднення підземних вод унаслідок експлуатації шламових карт. У проведеному експерименті моделюється вплив атмосферних опадів на шлам з видаленням екстрагованих речовин з системи, тобто напрямок і швидкість процесу задається експериментатором. Це дає підстави для аналізу результатів експерименту з позицій формальної кінетики, що описується рівнянням хімічної кінетики I порядку для незворотного процесу. Проведено силікатний аналіз шламу і оцінку обсягу вилугування з нього важких металів. Ступінь вилугування важких металів знаходиться в межах від 6,8 % (Cu) до 0,017 % (Zn). При цьому середній коефіцієнт фільтрації шламу становить $1,02 \times 10^{-5} \pm 0,12 \times 10^{-5} \text{ м} \times \text{с}^{-1}$. За даними силікатного аналізу основними компонентами шламу є Fe_3O_4 (57-58 %) і CaO (11-12 %). Обсяг щорічного надходження у підземний водоносний горизонт важких металів зі шламу становить 45-90 кг свинцю, цинку, заліза, 140-250 кг міді, 650-225 кг марганцю, що становить 0,002-0,12% від винесення сольовим стоком р. Дніпро. Таким чином шламові карти не можуть бути основним джерелом забруднення підземних і поверхневих вод важкими металами внаслідок низької швидкості і ступеня вилугування.

Ключові слова: водно-фізичні властивості, шлам, константа швидкості, ступінь вилугування, коефіцієнт фільтрації, силікатний аналіз, хімічний склад.

Вступ

У металургійному виробництві утворюються значні обсяги шламу, що складаються з осаду твердих дрібнодисперсних часточок унаслідок промивання рудного матеріалу, гідрозмиву з ділянок виробничих приміщень, охолодження димових газів тощо. Технологічними схемами передбачено його уловлювання та утилізація з метою вилучення (вторинного використання) металів та запобігання забрудненню навколишнього природного середовища.

Шлами агломераційного виробництва утворюються при отриманні агломерату, що містить аглоруду, концентрат, марганцеву руду, колошниковий пил, первинну окалину, відсів агломерату, сталеплавильний шлак, вапняк, вапняковий пил, дрібну фракцію коксу і вугілля.

Шлами доменного виробництва утворюються в процесі доменної плавки. На першій стадії сухої очистки газів колошниковий пил повертається в аглодоменну шихту. Більш тонкі фракції пилу уловлюються мокрим способом в скруберах і трубах Вентурі.

Шлами газоочищення мартенівських печей утворюються при очищенні технологічних газів у скруберах з водним зрошенням, блоках труб Вентурі, скруберах і вторинних краплєвловлювачах.

Шлами газоочищення конвертерів утворюються при мокрому очищенні газів від пилу. Шлами осаджуються в бункері і через гідрозатвор видаляються по шламопроводу в карти водойми-освітлювача чи в акумулюючий збірник.

Прокатна окалина з блюмінгів і прокатних станів, що утворюється в результаті нагріву і прокату металічних заготовок, змивається водою в первинні відстійники, де осідає крупна фракція [1].

Найбільше заліза містять мартенівські і конвертерні шлами, вихід яких становить 1,5–2 % від маси виробленої сталі [2]. Загальна кількість шламу, що утворюється на металургійному підприємстві, становить до 6 % від маси готової продукції [3].

Хімічний склад шламу зазвичай непостійний, відсоткове співвідношення елементів залежить від складу сировини, технології виробництва і кінцевої продукції. Основними компонентами є MgO , Al_2O_3 , SiO_2 , P_2O_5 , S , CaO , Cr , MnO , Fe (20–65 %), Ni , Zn , Pb . У невеликих кількостях можуть зустрічатись Sc , V , Co , Sr , Y , Zr , Nb , Mo , Cd , Sn , Ba , La [4–7].

На сучасному етапі розвитку вітчизняної металургії шлами за правило не використовуються як компонент сировини для металургійного виробництва. Шлами транспортуються на шламовідстійники, зберігаються в шламонакопичувачах [8], захоронюються на полігонах. Для підсипки бортів шламових карт використовуються шлаково-гравійні суміші, тому в шламах можуть бути присутні домішки гравію. У країнах ЄС налагоджено повну вторинну переробку шламів, в Україні переробляється лише 10–15 % металургійних шламів [1].

Шламові карти представляють собою штучні споруди трапецієвидного перетину зі шлаково-гравійним перекриттям, обмежені дамбами. Шлами однорідного складу завантажуються в шламові карти і витримуються для зневоднення. Передбачається, що видалення води зі шламу відбувається за рахунок інсоляції і випаровування. Проте шлаково-гравійне облаштування бортів і днища шламовідстійників не забезпечує гідроізоляції, що визначає зростання інфільтраційної складової зневоднення та небезпеку забруднення підземних водоносних горизонтів. У зв'язку з чим нагальним завданням є дослідження хімічного складу, фільтраційних властивостей металургійних шламів, та процесів водного вилуговування з них важких металів з метою оцінки екологічної небезпеки забруднення підземних вод унаслідок експлуатації шламових карт.

Об'єкт та методи дослідження

Об'єктом дослідження є хімічний склад, водно-фізичні властивості металургійного шламу та процеси водного вилуговування з нього важких металів з метою оцінки екологічної небезпеки забруднення підземних вод унаслідок експлуатації шламових карт.

Усі аналітичні визначення проводились у трикратній повторюваності.

Визначення **водно-фізичних властивостей**. Аналіз гігроскопічної вологості, пористості, питомої маси, вологоємності шламу проводився за методиками, тотожними до методик аналізу ґрунтів [9]. Для визначення гранулометричного складу шламу використано методи ситового і ареометричного аналізу ґрунтів згідно ДСТУ і стандартних методик [10, 11].

Визначення **коефіцієнту фільтрації** проводилось на приладі КФ-ООМ (трубка СпецГео, Знаменського) за стандартною методикою [9]. Для дослідження використано зразок загальної проби шламу порушеного складу і водопровідну воду питної якості. Вимірювання проводились за градієнтами напору 0,6, 0,8 та 1, при температурі $15^{\circ}C$. Площа фільтрації становила 25 см^2 . Для розрахунку коефіцієнту фільтрації використано поправку для приведення величини коефіцієнта фільтрації до умов фільтрації води при температурі $10^{\circ}C$, $T=1,165$.

Для визначення **хімічного складу** шламу було проведено силікатний аналіз [13] проби в лабораторії відділу геохімії важких металів Інституту геохімії, мінералогії та

рудотворення ім. М.П. Семененка НАН України. Для аналізу було відібрано проби загальної маси шламу і фракції 0,5-0,25 мм.

Процес **вилуговування** розглядається авторами з позицій теорії розчинів Д.І. Менделєєва, згідно якої розчинення є хімічним процесом, продуктами якого є гідратовані іони хімічних елементів. Швидкість будь-якої хімічної реакції змінюється до досягнення стану рівноваги та характеризується кінетичною константою швидкості. Процес вилуговування по суті є комплексом хімічних реакцій, спрямування та швидкість більшості з яких зрештою визначає швидкість і спрямованість процесу в цілому. Згідно принципу Ле-Шательє швидкість хімічної реакції визначається швидкістю її найповільнішої стадії.

У проведеному дослідженні моделюється вплив атмосферних опадів на шлам з видаленням екстрагованих речовин з системи, тобто напрямок і швидкість процесу задається експериментатором. Це дає підстави для аналізу результатів експерименту з позицій формальної кінетики, що описується рівнянням хімічної кінетики I порядку для незворотного процесу:

$$N = N_0 \cdot (1 - e^{-kt}), \quad (1)$$

де N – кількість важкого металу, що вилуговується, на момент часу t , мг;

N_0 – загальна кількість металу, що вилуговується, мг;

k – кінетична константа швидкості вилуговування, мг^{-1} ;

t – час вилуговування, сек.

Пробу шламу (200 г), яку було відібрано і підготовано згідно [9, 14], поміщували в ділильну воронку (поз. 2), в нижню частину якої впаяно фільтр Нутча класу 2, з діаметром пор 40 мкм, над якою встановлено резервуар з водою (поз. 1) (рис. 1). Фільтрат збирали у конічну колбу (поз. 3), яку для зменшення випаровування негерметично закривали пластиковою кришкою. Швидкість фільтрації регулювали краном ділильної воронки та встановлювали на рівні близько $100 \text{ см}^3 \times \text{добу}^{-1}$.

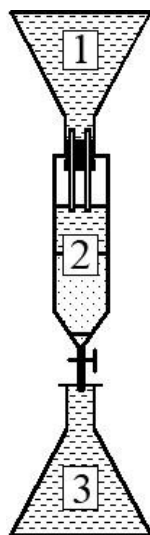


Рис. 1. Установка для вивчення кінетики водного вилуговування:

1 – резервуар з водою,

2 – ділильна воронка з впаяним фільтром Нутча,

3 – конічна колба для збирання фільтрату

Контрольованими параметрами є час фільтрування і об'єм відібраних проб. Відбір проб здійснювали 1–7 разів на тиждень. Першу пробу фільтрату було відібрано через 172 хв.

Фільтрат упарювали на електроплитці, не доводячи до кипіння, до 20 мл, з фіксацією об'єму.

За результатами дослідження було розраховано фактичну швидкість (мл×добу⁻¹) фільтрації за формулою:

$$v_d = \frac{V}{T}, \quad (2)$$

де: v_d – фактична швидкість фільтрації, мл×добу⁻¹;

V – об'єм відібраного фільтрату, мл;

T – термін фільтрації, доба.

Визначення концентрації важких металів (Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Cd) проводилось інверсійним вольтамперометричним методом на аналізаторі «Екотест-ВА» за стандартними методиками [15] з використанням трьохелектродної схеми з вуглеситаловим електродом. Розрахунки концентрації важких металів в аналізованій пробі фільтрату проведено за допомогою програми «ВА-95» згідно інструкції оператора [16].

За результатами експериментальних досліджень побудовано кінетичні криві і рівняння залежності ступеня водного вилуговування важких металів від часу методом ітерації із застосуванням аналітичної програми «Statistica» (рис. 2).

Результати досліджень та обговорення

Дослідження водно-фізичних властивостей шламу (табл. 1–3), показало, що гігроскопічна вологість шламу подібна до гігроскопічної вологості дрібнопіщаних ґрунтів (0,5–1,5 %) [17].

Таблиця 1. Водно-фізичні властивості шламу в порівнянні з характеристиками основних типів ґрунтів

Властивості	Шлам	Ґрунт	Тип ґрунту
Гігроскопічна вологість, %	1,32±0,54	0,5–1,5	дрібнопіщаний
Об'ємна маса, г×см ⁻³	1,49±0,06	1,4–1,6	дерново-підзолистий супіщаний
Питома маса, г×см ⁻³	3,26±0,12	2,74±0,026	глина
Пористість, %	54,40±2,31	> 55	щільні гравіюваті піски
Капілярна вологоємність, %	34,79±1,02	40	важкі суглинки
Повна вологоємність, %	35,78±1,09	35,9–53,8	сірий опідзолений пілуватосуглинковий ґрунт і опідзолений пілуватосередньосуглинковий чорнозем
Активна кислотність, од. рН	8,09±0,12	7,6–8,5	каштановий і сірозем
Обмінна кислотність, од. рН	8,25±0,12	7,6–8,5	каштановий і сірозем
Коефіцієнт фільтрації, м×с ⁻¹	1,02×10 ⁻⁵ – ±0,12×10 ⁻⁵	0,23×10 ⁻⁵ – 1,62×10 ⁻⁵	супіщаний і піщаний пілуватий

Об'ємна маса шламу відповідає характеристикам дерново-підзолистих супіщаних (1,4–1,6 г×см⁻³) ґрунтів [18].

Питома маса шламу перевищує значення питомої маси ґрунтів (глина – 2,74±0,026 г×см⁻³) [19] за рахунок високого вмісту оксиду заліза (57,98 %) (табл. 3).

Пористість шламу, згідно до класифікації ГОСТ, відповідає характеристикам щільних пісків гравіюватих, крупних та середньої крупності (> 55 %) [20].

Капілярна вологоємність шламу подібна до характеристик важких суглинкових ґрунтів (40 %) [21].

Значення повної вологості шламу відповідає характеристикам сірих опідзолених пилувато-суглинкових ґрунтів і опідзолених пилувато-середньосуглинкових чорноземів (35,9–53,8 %) [22].

Таблиця 2. Гранулометричний склад фракцій, %

Фракція, мм	Вміст, %
> 4,5 мм	35,07±0,35
4,5–3 мм	8,15±0,08
3–1 мм	18,84±0,25
1–0,5 мм	6,21±1,32
0,5–0,25 мм	5,14±1,17
0,25–0,1 мм	20,38±0,86

Таблиця 3. Склад тонкодисперсної фракції (< 0,1 мм), %

Фракція, мм	Вміст, %
0,1–0,05 мм	3,4611±0,0028
0,05–0,01 мм	0,0113±0,0031
0,01–0,005 мм	0,0024±0,0004
< 0,005 мм	2,7335±0,0006

За даними визначення активної і обмінної кислотності шламу виявляє лужні властивості, що відповідає характеристикам каштанових ґрунтів і сіроземів (рН 7,6–8,5) [23, 24]. На даний час визначення кислотності описано лише для ґрунтів при проведенні меліоративних робіт і підвищенні родючості сільськогосподарських рослин, що не передбачено технічним регламентом використання шламових карт.

Середній коефіцієнт фільтрації для дослідженого зразка проби шламу становить $1,02 \times 10^{-5} \pm 0,12 \times 10^{-5} \text{ м} \times \text{с}^{-1}$, що відповідає характеристикам супіщаних ($0,23 \times 10^{-5}$ – $1,62 \times 10^{-5} \text{ м} \times \text{с}^{-1}$) і піщаних пилуватих ($0,23 \times 10^{-5}$ – $4,63 \times 10^{-5} \text{ м} \times \text{с}^{-1}$) ґрунтів [25]. Це вказує на високу водопроникність, переважання інфільтраційної складової зневоднення над інсоляцією та може спричинити вилуговування і надходження забруднюючих речовин до підземного водоносного горизонту, а також утворення підпірної зони, підтоплення прилеглих територій і фундаментів відповідальних споруд (доменних печей, прокатних станів тощо).

Аналіз водно-фізичних властивостей шламу (табл. 1–3) свідчить про його високі фільтраційні властивості, слаболужну реакцію та високий вміст тонкодисперсних фракцій, які вимиваються у радіальному напрямі та можуть призводити до замулення прифільтрової зони і кольматації спостережних свердловин та зумовлювати винесення тонкодисперсної частини підземним стоком у зону розвантаження (р. Дніпро). З іншого боку, висока питома маса шламу перешкоджатиме істотному латеральному винесенню тонкодисперсних фракцій.

У гранулометричному складі шламу (табл. 2, 3) переважають фракції > 4,5 мм і 0,25–0,1 мм. Фракція > 4,5 мм представлена фрагментами шлако-гравійної підсипки бортів шламових карт і крупних агрегатів шламу. Вміст фракції 0,25–0,1 мм подібний до пилуватих піщаних ґрунтів [20]. В процесі роботи з окремими фракціями спостерігалось руйнування гранул з утворенням тонкодисперсних часток, що вказує на нестійку структуру гранул.

За даними силікатного аналізу основними компонентами валової проби шламу та фракції 0,5–0,25 мм є Fe_3O_4 (57–58 %), CaO (11–12 %) (табл. 4).

У перерахунку вміст заліза становить 41,5–42 %, що відповідає характеристикам природно-легованих бурих залізняків [26–28], та визначає перспективність використання шламу в якості металургійної сировини.

У результаті експериментального дослідження було встановлено, що ступінь водного вилуговування хрому, нікелю і кадмію зі шламу незначна і знаходиться нижче чутливості

приладу. Результати експериментального дослідження процесу водного вилигування Cu, Fe, Mn, Pb, Zn з високою достовірністю ($R^2 = 0,96-0,99$) апроксимуються кривою накопичення (формула 1) (рис. 2), що дає підстави для розрахунку частки металу, здатної до розчинення (N_0) та константи швидкості вилигування (k) (табл. 5).

За ступенем вилигування (табл. 5) метали розташовуються у ряду:

Cu (6,8 %) > Fe (0,97 %) > Mn (0,24 %) > Pb (0,12 %) > Zn (0,017 %).

За швидкістю водного вилигування (c^{-1}) зі шламу (табл. 5) метали розташовуються у ряду:

Cu ($1,22 \times 10^{-4}$) > Mn ($1,02 \times 10^{-4}$) > Pb ($5,75 \times 10^{-5}$) > Zn ($4,38 \times 10^{-5}$) > Fe ($3,56 \times 10^{-5}$).

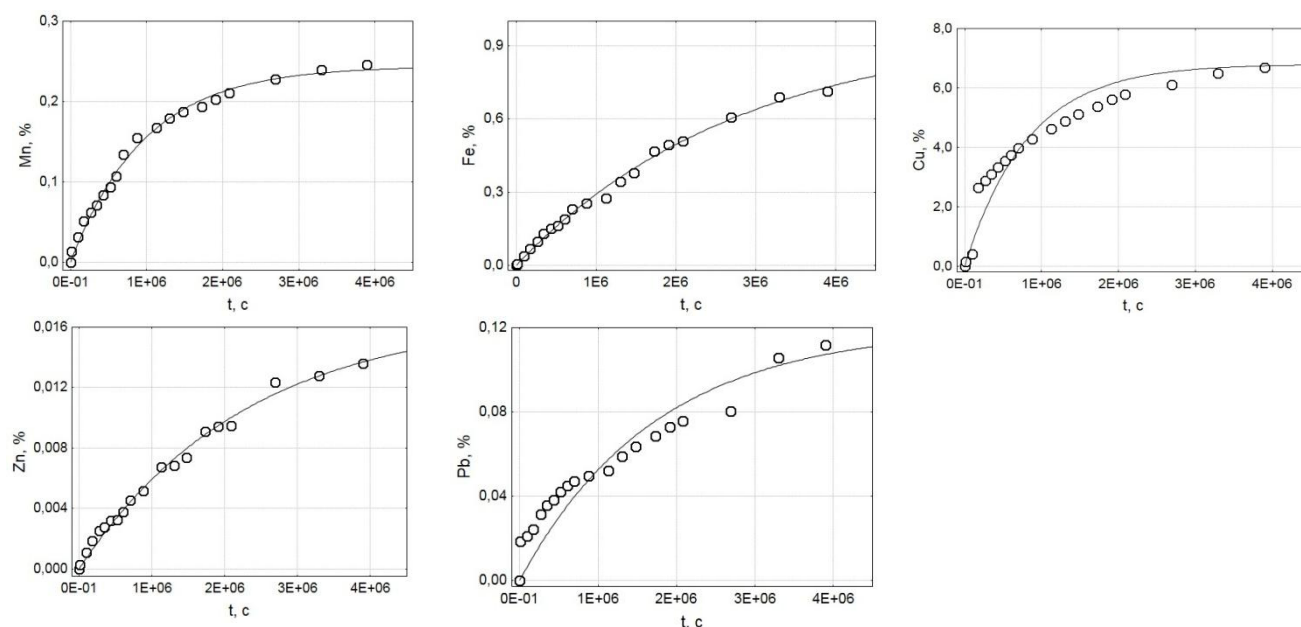


Рис. 2. Кінетика вилигування важких металів зі шламу металургійного виробництва

Таблиця 4. Хімічний склад шламу, %

	Вміст у вихідному зразку, %	Вміст у фракції 0,5–0,25 мм, %
SiO ₂	4,66	8,04
TiO ₂	0,16	0,15
Al ₂ O ₃	5,89	3,48
Fe ₃ O ₄	57,98	57,28
MnO	1,16	0,96
MgO	2,58	1,44
CaO	10,92	12,08
Na ₂ O	0,3	0,3
K ₂ O	0,3	0,3
P ₂ O ₅	1,27	0,73
H ₂ O-	3,38	1,78
в.п.п.	10,9	13,28
Сума	99,5	99,82

Враховуючи обсяги шламу, який надходить для зневоднення у шламові карти, унаслідок водного вилуговування у підземний водоносний горизонт щорічно надходить 45-90 кг свинцю, цинку, заліза 140-250 кг міді, 650-1225 кг мангану, що становить 0,002-0,12 % від винесення сольовим стоком р. Дніпро (табл. 6).

Таблиця 5. Кінетичні параметри вилуговування важких металів зі шламу

Метал	N_{tot} , мг	N_0 , %	k , с ⁻¹	R^2
Cu	2,68	6,80	$1,22 \times 10^{-4}$	0,96
Pb	99,97	0,12	$5,75 \times 10^{-5}$	0,93
Mn	41,52	0,24	$1,02 \times 10^{-4}$	0,99
Fe	23,14	0,97	$3,56 \times 10^{-5}$	0,99
Zn	977,53	0,017	$4,38 \times 10^{-5}$	0,99

Примітка: N_{tot} – загальний вміст важкого металу у вихідній пробі шламу, мг; N_0 – загальна кількість металу, що вилуговується, %; k – кінетична константа швидкості вилуговування, с⁻¹; R – коефіцієнт кореляції;

Таблиця 6. Максимальна оцінка обсягу важких металів, здатних до вилуговування зі шламу та надходження в підземні води, кг

Метал	2011 р.	2012 р.	2013 р.	2014 р.	Середнє за 2011–2014 рр.	Винесення сольовим стоком р. Дніпро	Частка винесення, %
Pb	85,2	44,9	54,3	59,7	61	50600	0,121
Zn	82,0	43,2	52,2	57,4	59	506000	0,012
Cu	257,5	136	164	180	184	1518000	0,012
Fe	92,9	49,0	59,1	65,0	67	3036000	0,002
Mn	1225	646	780	858	877	4048000	0,022

За отриманими даними можна зробити висновок, що шламові карти не можуть бути основним джерелом забруднення підземних і поверхневих вод важкими металами внаслідок низької швидкості та ступеня вилуговування.

Висновки

Результати експериментального дослідження кінетики вилуговування важких металів з металургійних шламів свідчать, що експлуатація шламових карт не здійснює істотного впливу на забруднення підземних і поверхневих вод важкими металами. Максимальна кількість важких металів, які здатні вилуговуватися зі шламу, не перевищує 0,1 % річного сольового стоку р. Дніпро, що знаходиться в межах природних сезонних флуктуацій.

Робота виконана за фінансової підтримки Незалежного інституту судових експертиз: www.nice.com.ua

ЛІТЕРАТУРА

1. Наноструктурные образования в процессах обогащения железокислотно-карбонатно-силикатных металлургических шламов / [И. М. Коваленко, И. Г. Ковзун, З. Р. Ульберг и др.]. // Наносистемы, наноматериалы, нанотехнологии. – 2008. – №2. – С. 443–478.
2. Лотош В. Е. Переработка отходов природопользования / В. Е. Лотош. – Екатеринбург: УрГУПС, 2002. – 463 с.

3. Коваленко А. М. О шламах газоочисток доменного и сталеплавильного производств / А.М. Коваленко. // Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – №2. – С. 4–7.
4. Состав и обогатимость металлургических шламов / [В. В. Филенко, С. Н. Тырышкина, В. В. Иванченко и др.]. // Геолого-мінералогічний вісник Криворізького національного університету. – 2005. – №2. – С. 109–112.
5. Фитостимулирующие эффекты металлургического шлама на растения подсолнечника (helianthus) [Електронний ресурс] / [Д. В. Кузнецов, С. Э. Кондаков, Г. И. Чурилов и др.] // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – Режим доступа до ресурсу: <http://www.science-education.ru/111-10109>.
6. Использование шламов [Електронний ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://studopedia.org/1-44654.html>.
7. Электронномикроскопическое исследование клеток растений кукурузы [Електронний ресурс] / [А. А. Гусев, А. В. Шуклинов, О. А. Акимова и др.] // Наукоеведение. – 2013. – Режим доступа до ресурсу: <http://naukovedenie.ru/PDF/03tvn513.pdf>.
8. Разработка бессточной схемы утилизации высоковлажных железосодержащих шламов и пылевидных отходов металлургического производства [Електронний ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://c.online-expo2017.com/blog/359.html>.
9. Крикунов В.Г., Кравченко Ю.С., Криворучко В.В., Крикунова О.В. Лабораторный практикум по грунтознавству – Біла Церква, 2003. – 166 с.
10. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв: 2-е изд. – М.: Изд-во Московского университета, 1970. – 488 с.
11. Основи та підвалини будинків і споруд. Грунти. Методи лабораторного визначення гранулометричного (зернового) та мікроагрегатного стану. ДСТУ Б В.2.1-19:2009 – [Чинний від 2009-12-22] – К.: Мінрегіонбуд України, 2010.
12. Основи та підвалини будинків. Грунти. Методи лабораторного визначення коефіцієнта фільтрації. ДСТУ Б В.2.1-23:2009. – [Чинний від 2010-10-01] – К.: Мінрегіонбуд України, 2010.
13. Анализ минерального сырья / [ред. Ю.Н. Книпович, Ю.В. Морачевского]. – Л.: Государственное научно-техническое издательство химической литературы, 1959. – 143 с.
14. Якість ґрунту. Попереднє оброблення зразків для фізико-хімічного аналізу: ДСТУ ISO 11464-2007 – [Чинний від 2007-12-24] – К.: Держспоживстандарт України, 2012. – 8 с.
15. Сборник методик выполнения измерений массовой концентрации ионов меди, свинца, кадмия, цинка, висмута, марганца, никеля и кобальта, массовой концентрации формальдегида, ацетальдегида, метанола и диэтиленгликоля, методом вольтамперометрии на вольтамперометрическом анализаторе «Экотест-ВА» – М.: ООО «Эконикс-Эксперт», 2004.
16. «ВА-95». Версия программы управления анализатором Экотест-ВА, совместимая с MS-WINDOWS (версия 95 и выше). Руководство оператора – Москва: ООО «Эконикс-Эксперт», 2004. – 35 с.
17. Почвенно-гидрологические константы [Електронний ресурс] – Режим доступа до ресурсу: http://www.sel-hoz.ru/articles/articles_2817.html.
18. Кравченко В. А. Методические указания и справочный материал для составления курсового проекта (работы) по системе применения удобрений в севооборотах [Електронний ресурс] / В. А. Кравченко – Режим доступа до ресурсу: http://window.edu.ru/catalog/pdf2txt/124/56124/27087?p_page=2.
19. Удельный вес грунтов [Електронний ресурс] // Специальные виды работ в строительстве – Режим доступа до ресурсу: <http://svaika.ru/udelniy-ves-gruntov>.
20. Основи та підвалини будинків. Грунти. Класифікація. ДСТУ Б В.2.1-2-96 (ГОСТ 25100-95) – К.: Державний комітет України у справах містобудування і архітектури, 1997. – 47 с.

21. Белицина Г. Д. Почвоведение / Г. Д. Белицина. – Москва: Высшая школа, 1988. – 400 с.
22. Шкварук М. М. Грунтознавство / М. М. Шкварук, М. І. Шкварук. – Київ: Вища школа, 1976. – 320 с.
23. Почвенная кислотность и щелочность, буферность почв [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: http://cozyhomestead.ru/rastenia_1639.html.
24. Кислотность. Щелочность. Буферность почв [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: http://studopedia.ru/11_103044_kislotnost-shchelochnost-bufernost-pochv.html.
25. Основания, фундаменты и подземные сооружения / [М. И. Горбунов-Посадов, В. А. Ильичев, В. И. Крутов и др.]. – М.: Стройиздат, 1985. – 480 с. – (Справочник проектировщика).
26. Железные руды [Электронный ресурс] // Горная энциклопедия – Режим доступа до ресурсу: <http://www.mining-enc.ru/zh/zheleznye-rudy/>.
27. Руды железные товарные необогащенные. Общие технические условия: ГОСТ Р 52939-2008 – [Действителен с 2008-07-15] – М.: Стандартиформ, 2008. – 6 с.
28. Руди залізни та марганцеві. Види та властивості продукції. Терміни та визначення: ДСТУ 2552-94 – [Чинний з 1995-07-01] – К.: Держстандарт України, 1994 – 55 с.

REFERENCES

1. Nanostrukturnye obrazovaniia v protsessakh obogashcheniia zhelezooksidno-karbonatno-silikatnykh metallurgicheskikh shlamov [Nanostructural formation in enrichment processes of iron oxide-carbonate-silicate metallurgical sludges] / [I. M. Kovalenko, I. G. Kovzun, Z. R. Ul'berg i dr.]. // Nanosystemy, nanomaterialy, nanotekhnologii. – 2008. – №2. – S. 443–478. [in Russian]
2. V. Lotosh Pererabotka otkhodov prirodopol'zovaniia [Recycling of nature management wastes] / V. Lotosh. – Ekaterinburg: UrGUPS, 2002. – 463 s. [in Russian]
3. A. Kovalenko O shlamakh gazoochistok domennogo i staleplavil'nogo proizvodstv [About gas cleaning sludge of blast furnace and steelmaking production] / A. M. Kovalenko. // Evropeiskii zhurnal peredovykh tekhnologii. – 2012. – №2. – S. 4–7. [in Russian]
4. Sostav i obogatimost' metallurgicheskikh shlamov [The composition and dressability of metallurgical slags] / [V. Filenko, S. Tyryshkina, V. Ivanchenko i dr.]. // Heoloho-mineralohichnyi visnyk Kryvorizkoho natsionalnoho universytetu. – 2005. – #2. – S. 109–112. [in Russian]
5. Fitostimuliruiushchie efekty metallurgicheskogo shlama na rasteniia podsolnechnika (helianthus) [Phytostimulating effects of metallurgical sludge in the sunflower plant (helianthus)] [Elektronnyi resurs] / [D. Kuznetsov, S. Kondakov, G. Churilov i dr.] // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniia. – 2012. – Rezhym dostupu do resursu: <http://www.science-education.ru/111-10109>. [in Russian]
6. Ispol'zovanie shlamov [The use of sludges] [Elektronnyi resurs] – Rezhym dostupu do resursu: <http://studopedia.org/1-44654.html>. [in Russian]
7. Elektronnomikroskopicheskoe issledovanie kletok rastenii kukuruzy [An electron microscopic research of maize plant cells] [Elektronnyi resurs] / [A. A. Gusev, A. V. Shuklinov, O. A. Akimova i dr.] // Naukovedenie. – 2013. – Rezhym dostupu do resursu: <http://naukovedenie.ru/PDF/03tvn513.pdf>. [in Russian]
8. Razrabotka bestochnoi skhemy utilizatsii vysokovlazhnykh zhelezosoderzhashchikh shlamov i pilevidnykh otkhodov metallurgicheskogo proizvodstva [Development of zero-discharge scheme of recycling of high-moisture iron-containing sludge and powdered metallurgical wastes] [Elektronnyi resurs] – Rezhym dostupu do resursu: <http://c.online-expo2017.com/blog/359.html>. [in Russian]
9. V. Krykunov, Yu. Kravchenko, V. Kryvoruchko, O. Krykunova Laboratornyi praktikum po gruntoznavstvu [Laboratory practical work on Soil] – Bila Tserkva, 2003. – 166 s. [in Ukrainian]

10. E. Arinushkina Rukovodstvo po khimicheskomu analizu pochv: 2-e izd. [Guide to chemical soil analysis: 2nd ed.] – M.: Izd-vo Moskovskogo universiteta, 1970. – 488 s. [in Russian]
11. Osnovy ta pidvalyny budynkiv i sporud. Hrunty. Metody laboratornoho vyznachennia hranulometrychnoho (zernovoho) ta mikroahrehatnoho stanu. DSTU B V.2.1-19:2009 [Grounds and foundations of buildings and structures. Soils. Methods of laboratory determination of particle size (grain) and mikroagregative state. DSTU B V.2.1-19:2009] – [Chynnyi vid 2009-12-22] – K.: Minrehionbud Ukrainy, 2010. [in Ukrainian]
12. Osnovy ta pidvalyny budynkiv. Hrunty. Metody laboratornoho vyznachennia koefitsiienta filtratsii. DSTU B V.2.1-23:2009 [Grounds and the foundations of buildings. Soils. Methods of laboratory determination of the coefficient of filtration. DSTU B V.2.1-23:2009] – [Chynnyi vid 2010-10-01] – K.: Minrehionbud Ukrainy, 2010. [in Ukrainian]
13. Analiz mineral'nogo syr'ia [The analysis mineral raw materials] / [red. Iu.N. Knipovich, Iu.V. Morachevskogo]. – L.: Gosudarstvennoe nauchno-tekhnicheskoe izdatel'stvo khimicheskoi literatury, 1959. – 143 s. [in Russian]
14. Yakist hruntu. Poperednie obrobliannia zrazkiv dlia fizyko-khimichnoho analizu: DSTU ISO 11464-2007 [The quality of the soil. Pre-processing of samples for physical and chemical analysis: DSTU ISO 11464-2007] – [Chynnyi vid 2007-12-24] – K.: Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2012. – 8 s. [in Ukrainian]
15. Sbornik metodik vypolneniia izmerenii massovoi kontsentratsii ionov medi, svintsa, kadmiia, tsinka, vismuta, margantsa, nikelia i kobal'ta, massovoi kontsentratsii formal'degida, atsetal'degida, metanola i dietilenglikolia, metodom vol'tamperometrii na vol'tamperometricheskom analizatore «Ekotest-VA» [The collection of measurement methods of the mass concentration of ions of copper, lead, cadmium, zinc, bismuth, manganese, nickel and cobalt, the mass concentration of formaldehyde, acetaldehyde, methanol and glycol, voltammetry method on voltammetric analyzer «Ekotest-VA»] – M.: ООО «Ekoniks-Ekspert», 2004. [in Russian]
16. «VA-95». Versiia programmy upravleniia analizatorom Ekotest-VA, sovместима с MS-WINDOWS (versiia 95 i vyshe). Rukovodstvo operatora [«VA-95». Analyzer control program version Ecotest-VA compatible with MS-WINDOWS (version 95 and higher). Guide for operator] – Moskva: ООО «Ekoniks-Ekspert», 2004. – 35 s. [in Russian]
17. Pochvenno-gidrologicheskie konstanty [The soil-hydrological constants] [Elektronnyi resurs] – Rezhym dostupu do resursu: http://www.sel-hoz.ru/articles/articles_2817.html. [in Russian]
18. V. Kravchenko Metodicheskie ukazaniia i spravochnyi material dlia sostavleniia kursovogo proekta (raboty) po sisteme primeneniia udobrenii v sevooborotakh [Methodical instructions and reference material for the preparation of course project (work) with respect to the use of fertilizers in crop rotations] [Elektronnyi resurs] / V. A. Kravchenko – Rezhym dostupu do resursu: http://window.edu.ru/catalog/pdf2txt/124/56124/27087?p_page=2. [in Russian]
19. Udel'nyi ves gruntov [The soils' specific weight] [Elektronnyi resurs] // Spetsial'nye vidy robot v stroitel'stve – Rezhym dostupu do resursu: <http://svaika.ru/udelnyi-ves-gruntov>. [in Russian]
20. Osnovy ta pidvalyny budynkiv. Hrunty. Klasyfikatsiia. DSTU B V.2.1-2-96 (HOST 25100-95) [Grounds and the foundations of buildings. Soils. Classification. DSTU B V.2.1-2-96 (HOST 25100-95)] – K.: Derzhavnyi komitet Ukrainy u spravakh mistobuduvannia i arkhitektury, 1997. – 47 s. [in Ukrainian]
21. G. Belitsina Pochvovedenie [Pedology] / G. D. Belitsina. – Moskva: Vysshaia shkola, 1988. – 400 s. [in Russian]
22. M. Shkvaruk Hruntoznavstvo [Pedology] / M. M. Shkvaruk, M. I. Shkvaruk. – Kyiv: Vyshcha shkola, 1976. – 320 s. [in Ukrainian]
23. Pochvennaia kislotnost' i shchelochnost', bufernost' pochv [Acidity and alkalinity of soils, buffering of soils] [Elektronnyi resurs] – Rezhym dostupu do resursu: http://cozyhomestead.ru/rastenia_1639.html. [in Russian]

24. Kislotsnost'. Shchelochnost'. Bufernost' pochv [Acidity. Alkalinity. Buffering of soils] [Elektronnyi resurs] – Rezhym dostupu do resursu: http://studopedia.ru/11_103044_kislotsnost-shchelochnost-bufernost-pochv.html. [in Russian]
25. Osnovaniia, fundamenty i podzemnye sooruzheniia [Grounds, foundations and underground structures] / [M. I. Gorbunov-Posadov, V. A. Il'ichev, V. I. Krutov i dr.]. – M.: Stroiizdat, 1985. – 480 s. – (Spravochnik proektirovshchika). [in Russian]
26. Zheleznye rudy [Iron ores] [Elektronnyi resurs] // Gornaia entsiklopediia – Rezhym dostupu do resursu: <http://www.mining-enc.ru/zh/zheleznye-rudy/>. [in Russian]
27. Rudy zheleznye tovarnye neobogashchennye. Obshchie tekhnicheskie usloviia: GOST R 52939-2008 [Unenriched trade Iron ores. General technical specifications: GOST R 52939-2008] – [Deistvitelen s 2008-07-15] – M.: Standartinform, 2008. – 6 s. [in Russian]
28. Rudy zalizni ta marhantsevi. Vydy ta vlastyvoli produktsii. Terminy ta vyznachennia: DSTU 2552-94 [Iron and Manganese ores. Types and properties of products. Terms and definitions: DSTU 2552-94] – [Chynnyi z 1995-07-01] – K.: Derzhstandart Ukrainy, 1994 – 55 s. [in Ukrainian]

КИНЕТИКА ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ ШЛАМА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

Мещеряков С. В., Долин В. В.

Мещеряков С. В., аспирант, ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины», mescheriakov@mail.ua
Долин В. В., докт. геол. наук, профессор, ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины», vdolin@ukr.net

В статье приведены результаты экспериментального исследования химического состава, водно-физических и фильтрационных свойств металлургического шлама, и процессов водного выщелачивания из него тяжелых металлов с целью оценки экологической опасности загрязнения подземных вод вследствие эксплуатации шламовых карт. В проведенном эксперименте моделируется воздействие атмосферных осадков на шлам с удалением экстрагированных веществ из системы, то есть направление и скорость процесса задается экспериментатором. Это дает основания для анализа результатов эксперимента с позиций формальной кинетики, что описывается уравнением химической кинетики I порядка для необратимого процесса. Проведен силикатный анализ шлама и оценка объема выщелачивания из него тяжелых металлов. Водно-физические характеристики подобны характеристикам песчаных и супесчаных грунтов. Гранулометрический состав подобен составу пылеватых песчаных грунтов. Степень выщелачивания тяжелых металлов находится в пределах от 6,8 % (Cu) до 0,017 % (Zn). При этом средний коэффициент фильтрации для шлама составляет $1,02 \times 10^{-5} \pm 0,12 \times 10^{-5} \text{ м} \times \text{с}^{-1}$. По данным силикатного анализа основными компонентами шлама являются Fe_3O_4 (57–58 %) и CaO (11–12 %). Объем ежегодного поступления в подземный водоносный горизонт тяжелых металлов из шлама составляет 45–90 кг свинца, цинка, железа 140–250 кг меди, 650–1225 кг марганца, что составляет 0,002–0,12% от вынесения солевым стоком р. Днепр. Таким образом, шламовые карты не могут быть основным источником загрязнения подземных и поверхностных вод тяжелыми металлами вследствие низкой скорости и степени выщелачивания.

Ключевые слова: водно-физические свойства, шлам, константа скорости, степень выщелачивания, коэффициент фильтрации, силикатный анализ, химический состав.

KINETICS OF HEAVY METALS LEACHING FROM SLUDGE OF METALLURGICAL PRODUCTION.

S. Meshcheriakov, V. Dolin

S. Meshcheriakov Doctoral Student, SI «Institute of Environmental Geochemistry of NAS of Ukraine», mescheriakov@mail.ua
V. Dolin D.Sc. (Geol.), Professor, SI «Institute of Environmental Geochemistry of NAS of Ukraine» vdolin@ukr.net

The paper presents data on experimental research of the chemical composition and physical properties of metallurgical sludge. In order to assess the environmental hazard of groundwater contamination due to operation of the slurry cards processes of heavy metals water leaching have been studied. Experimental simulation of atmospheric precipitation impact on the sludge with the removal of the extracted substances from the system is worked out. The direction and speed of the process is set by the experimenter. Taking into account chemical theory of solution experimental data has been described according to formal kinetics for an irreversible process. Chemical composition of the sludge has been studied. It consists generally from Fe_3O_4 (57-58%) and CaO (11-12%). Physical properties of the sludge are similar to sandy and sandy loam soils, and grain-size composition is similar to silty sand soil. The filtration factor for sludge is $1,02 \times 10^{-5} \pm 0,12 \times 10^{-5} \text{ m} \times \text{s}^{-1}$. The volume of water-leachable heavy metals from the sludge is assessed. It varies in the range from 0,017% for Zn to 6,8 % for Cu. The amount of annual flow of heavy metals into the underground aquifer owing to leaching from the sludge is 45-90 kg of lead, zinc, and iron, 140-250 kg of copper, 650-1225 kg of manganese, that does not exceeding 0,002-0,12% of natural runoff via Dnipro river. Therefore slurry cards are not the main source of groundwater and surface water contamination with heavy metals due to minor volume and low speed of leaching.

Keywords: physical properties, sludge, rate constant, leaching, filtration factor, silicate analysis, chemical composition.

УДК: 631.442.4:541.64:621.763

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЦЕМЕНТА В БЕНТОНИТ-ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТАХ.

Розко А. Н., Федоренко Ю. Г., Павлышин Г. П.

Розко А. Н. к. геол. н., ст. н. с., Институт геохимии минералогии и рудообразования НАН Украины им. Н.П. Семененко, al.rozko@gmail.com

Федоренко Ю. Г. н. с., б/с, ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины»

Павлышин Г. П. гл. математик, ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины»

*В статье приведены результаты исследований применения цемента в бентонитополимерных композитах. Установлено, что цемент, который внесен в состав смесей, предназначенных для синтеза бентонит-полимерных композитов, проявляет свойства восстановителя и при одновременном использовании окислителя, персульфата аммония, создается окислительно-восстановительная среда для полимеризации акрилата натрия. Причем цемент в композитах сокращает период от начала реакции до момента ее максимальной скорости. В реакции полимеризации бентонитополимерных композитов с цементом можно выделить две одновременно начинающиеся и накладывающиеся стадии. На первой стадии температура образца повышается на несколько градусов, статическое напряжение сдвига возрастает в $1,5 \div 2$ раза и образцы становятся упругими уже при низкой температуре. На второй – температура продолжает расти, при этом статическое напряжение сдвига возрастает в сотни раз и образцы становятся водостойкими, а большое количество межцепочных сшивок подтверждается невысокой степенью свободного набухания. Переход композитов из пластичного в упругое состояние происходит при пониженных начальных температурах ($10 \div 14^\circ\text{C}$). Это открывает новые возможности для полимеризации композитов *in situ* при выполнении ремонтных и гидроизолирующих работ, создании инженерных барьеров.*

Ключевые слова: цемент, акрилат натрия, бентонит-полимерные композиты, полимеризация, степень свободного набухания, статическое напряжение сдвига

Введение

Свойства глинополимерных композитов в значительной степени определяются как характеристиками полимерной компоненты (химическим составом, методами полимеризации, способами создания окислительно-восстановительных условий, температурой и т.д.), так и видом наполнителя, его количеством в композите, свойствами поверхности частиц наполнителя и их дисперсностью. Известно, что в качестве активного наполнителя применяются цеолит или различные глинистые минералы: палыгорскит, каолинит, гидрослюда и другие [1, 2]. Применению в композитах цемента в настоящее время должного внимания не уделялось.

Интерес к цементу в составе глинополимерных композитов обусловлен тем, что при практическом применении в условиях теплообмена с грунтом или бетоном полимеризация композитов вынуждена происходить при достаточно низких температурах. С понижением температуры процесс полимеризации замедляется, происходит не полностью или совсем может остановиться, что затрудняет работы *in situ*. Применение цемента в композитах в сочетании с активными центрами на поверхности глинистых частиц [3], выполняющих роль восстановителей [4], может создать условия необходимые для полимеризации при пониженных температурах. Кроме того, применение цемента позволяет заменить часть более дорогостоящей кальцинированной соды в составах композитов.

Изучение синтеза бентонит-полимерных композитов, содержащих цемент, и некоторых их свойств явилось целью данной работы.

Методика получения глино-полимерных композитов с добавкой цемента и изучение их свойств

Влияние цемента на полимеризацию акрилата натрия изучалось на образцах композитов, синтезированных без соды, бентонита и традиционного восстановителя – аскорбиновой кислоты. В качестве пассивного наполнителя использовался кварцевый песок.

Первоначально готовилась смесь песка с цементом. Затем в смесь вливался раствор акрилата натрия (АкNa) и все тщательно перемешивалось. Замечено, что после введения в смесь растворов персульфата аммония (ПСА) и N,N' – метиленбисакриламида (МБА), реакция полимеризации в образцах с цементом и песком начинается сразу, протекает с коротким индукционным периодом. Состав таких композитов и некоторые их характеристики приведены в таблице 1.

Таблица 1. Состав и свойства цементно полимерных композитов

Компоненты композита, %	№ образца			
	1/141	2/138	3/139	4/140
Песок	59,53	56,27	53,38	49,33
Цемент	2,98	8,44	13,30	19,73
АкNa	9,06	8,55	8,10	7,50
МБА	0,12	0,11	0,11	0,1
ПСА	0,18	0,17	0,16	0,15
Вода	28,03	26,45	25,04	23,19
Свойства				
T _{max.} *	51	54	53	46
η**	6,4	5,9	2,7	1,3

* максимальная температура образца при полимеризации, °C;

** степень набухания в воде, г/г.

Из таблицы 1 видно, что с увеличением количества цемента температура полимеризации достигает 53°C - 54°C при количестве цемента в смеси от 8,4 % до 13,3 % и снижается до 46°C при 19,7 %.

Степень набухания в воде постепенно уменьшается с 6,4 г/г при 3 % цемента до 1,3 г/г при 19,7 % соответственно, что, по-видимому, связано с некоторым цементированием образцов.

В состав композитов, обладающих длительным индукционным периодом полимеризации, добавляли бентонит, соду (обр. 8/146-12/150 и 14/152) и песок (обр. 13/123) (табл. 2). Одновременно были синтезированы образцы, содержащие соду и бентонит, но без цемента (обр. 6/144, 7/145). В процессе полимеризации композитов, состав которых приведен в таблице 2., измеряли максимальную температуру полимеризации и степень свободного набухания в воде. Кроме того производились расчеты значений температуры и времени от начала реакции до момента ее наибольшей скорости (табл. 3).

Статическое напряжение сдвига рассчитывалось путем измерения диаметров образцов сжатых навесок по формуле [4, 5]: $\xi = 11920/d^5$, где d – диаметр образцов, см; ξ – статическое напряжение сдвига, г/(см·с²).

Измерения проводились до значения $\xi = 16000$ г/(см·с²), хотя процесс полимеризации еще продолжался и статическое напряжение сдвига увеличивалось. Оценку статического напряжения сдвига проводили, используя стальной шарик диаметром 19,1 мм и массой 28,6 г. Шарик позволяет контролировать переход образца из пластичного состояния (шарик погружается в смесь полностью) в упругое, при котором шарик остается на поверхности.

Этот переход, как было установлено в изучаемых образцах, происходил при напряжении сдвига около $6 \cdot 10^3$ г/(см·с²). В качестве примера приведены результаты измерения образца 14/152 (табл.4).

Таблица 2. Компонентный состав бентонит-полимерных композитов с добавкой цемента, имеющих длительный индукционный период реакции полимеризации.

Компоненты	Образцы								
	6/144	7/145	8/146	9/147	10/148	11/149	12/150	13/123	14/152
Бентонит, %	36,5	35,5	35,4	35,2	37,0	35,0	34,0	17,2	34,2
Сода, %	5,3	7,4	7,4	7,3	4,4	5,8	5,7	-	5,7
Цемент (М-400), %	-	-	0,4	0,7	1,5	2,9	2,1	5,2	1,4
Песок, %	-	-	-	-	-	-	-	42,9	-
АкНа, %	14,9	14,6	14,5	14,5	14,6	14,4	13,9	8,1	14,1
МБА, %	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,14	0,07	0,14
ПСА, %	0,23	0,22	0,22	0,22	0,22	0,2	0,21	0,1	0,21
Вода, %	42,9	42,1	42,0	41,8	42,1	41,5	43,9	26,4	44,2

Таблица 3. Свойства композитов

№ образца.	t, мин *	T°C **	T°C ***	Степень набухания, г/г
6/144	410	33	49	12,4
7/145	240	35	46,5	9,08
8/146	180	35,5	41	12,0
9/147	115	36,4	43	8,8
10/148	250	36	41	11,5
11/149	36	39,5	51,5	12,8
12/150	73	41	49	17,9
13/123	-	-	-	8,3
14/152	139	-	48	12,9

* время достижения максимальной скорости подъема температуры;

** значения температуры, при которых реакция полимеризации имеет максимальную скорость;

*** максимальная температура полимеризации;

- измерения не проводились

Последние показатели получили путем дифференцирования кривых зависимости температуры образцов от времени полимеризации [6].

Таблица 4. Длительность эксперимента, статическое напряжение сдвига и температуры образца 14/152 при полимеризации

Статическое напряжение сдвига, г/(см·с ²)	Температура образца, °С	Длительность эксперимента, мин.
1137	13,5	-
1422	13,5	10
915	14	20
915	14	30
1137	13,5	40
1737	13	50
2761	13	60
1137	13	70
1069	14	80
1737	14,5	90
5926	15,5	100
153290	16	110

Реологические свойства бентонито-полимерных композитов с цементом изучались путем периодического отбора во время полимеризации навесок (4 шт. по 0,1 г), которые помещались между двумя стеклами под нагрузкой.

Во всех случаях температура максимальной скорости реакции полимеризации развивалась незадолго до достижения максимальной температуры реакции и составляла от 0,68 до 0,87 от этой температуры. Оба эти показателя измеряются с небольшой погрешностью и в дальнейшем могут использоваться при оценке качества бентонито-полимерных композитов.

Результаты эксперимента и их обсуждение

Все опыты проводились при температурах $13^{\circ}\text{C} \div 14^{\circ}\text{C}$. Такую же температуру имели все компоненты синтезируемых композитов.

Синтез цементно-полимерных композитов (табл. 1) показал, что цемент в композитах выполняет функции восстановителя в окислительно-восстановительных реакциях полимеризации. Свойства композитов при неизменных количествах окислителя – персульфата аммония зависят от количества цемента в образцах. Реакция полимеризации начинается практически через 3 мин $\div$ 5 мин и протекает энергично с подъемом температуры до 54°C . Из-за короткого индукционного периода такие композиты с количеством цемента от 3 % до 20% могут найти применение небольшими партиями для срочной заливки небольших трещин и щелей между бетонными блоками, для экстренного создания гидроизолирующих барьеров.

Образцы с длительным индукционным периодом полимеризации ($6/144 \div 14/152$) содержали бентонит, соду, цемент (табл. 2). Анализ данных в таблицах 2 и 3 показал, что интервал времени от введения окислителя до момента наиболее высокой скорости подъема температуры (t , мин) подчиняется выражению:

$$t = 765 - 72 C_1 - 122 C_2,$$

где C_1 – концентрация соды, %; C_2 – концентрация цемента, %

Кроме того на всех дифференциальных кривых, наблюдалось увеличение скорости подъема температуры при ее низких значениях, однако из-за колебаний внешней температуры этот подъем был не всегда достаточно выражен. Термоизоляция образца во время полимеризации позволила выделить этот процесс в более явном виде (рис. 1). Установлено, что в бентонит-полимерных композитах с добавкой цемента полимеризация акрилата натрия проходит в две налагающихся стадии: при низких температурах $12^{\circ}\text{C} \div 14^{\circ}\text{C}$ (первая стадия), и до $51,5^{\circ}\text{C}$ (вторая стадия).

Температурные границы стадий указаны приближенно, так как начало второй стадии происходит в рамках первой стадии. Тем не менее важным оказывается тот факт, что уже на первой стадии при температуре $15,5^{\circ}\text{C}$ статическое напряжение сдвига составляет около $6 \cdot 10^3 \text{ г/}(\text{см}^2)$, т.е. при полимеризации *in situ* необходимо учитывать то, что образец из пластичного превратится в упругий задолго до того как наберет максимальную температуру. Температура образца на первой стадии повышается всего на несколько градусов, что в сочетании с повышенными значениями статического напряжения сдвига может свидетельствовать о том, что в конце стадии формируется пространственная полимерная сетка с достаточно крупными ячейками. Последующее повышение температуры до 40°C и более на второй стадии связано с продолжающейся полимеризацией, в образцах образуются более короткие полимерные цепочки связанные достаточно часто поперечными связями: молекулами МБА и активными центрами на поверхности минеральных частиц. Возможно, большим количеством поперечных связей можно объяснить низкие значения степени набухания бентонит-полимерных композитов с цементом (табл. 3) При быстрой

полимеризации образцов цемент-полимерных композитов стадии полимеризации накладываются одна на другую и разделить их сложно.

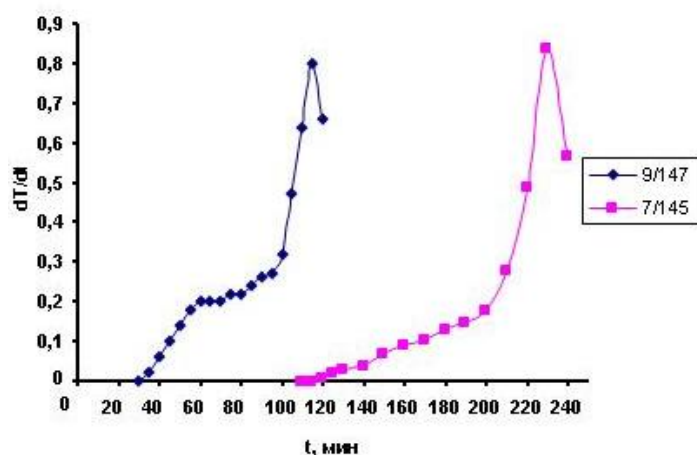


Рис. 1. Дифференциальные кривые зависимости температуры по времени полимеризации образцов 7/145 и 9/147.

Индукционный период образца 7/145 без цемента (рис. 1) длился около 160 мин, затем в течение 40 мин образец постепенно превращался из пластичного в упруго-пластичный и только с повышением температуры до 35°C стал упругим и водостойким. В этом случае также сложно уверенно разделить полимеризацию на стадии.

Выводы

Цемент в составе бентонит-полимерных композитов проявляет свойства восстановителя и вместе с окислителем, персульфатом аммония, создает условия для окислительно-восстановительной полимеризации акрилата натрия, при этом цемент в композитах сокращает период от начала реакции до момента ее максимальной скорости.

В реакции полимеризации бентонит-полимерных композитов с добавкой цемента можно выделить две накладываются стадии: на первой температура образца поднимается на несколько градусов, в 1,5- 2 раза увеличивается статическое напряжение сдвига. На второй – температура продолжает расти, при этом статическое напряжение сдвига увеличивается в сотни раз.

По-видимому, обе стадии начинаются одновременно. На первой стадии формируется объемная полимерная сетка с относительно крупными ячейками. В дальнейшем процесс полимеризации продолжается с образованием взаимопроникающих полимерных сеток, температура образца возрастает на 20°C ÷ 40°C и он становится водостойким с низкой степенью свободного набухания.

Переход композитов с цементом из пластичного в упругое состояние происходит при низких температурах, что открывает возможности их полимеризации *in situ* при практическом выполнении гидроизолирующих работ, создании инженерных барьеров и т.п.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Junping Zhang* Preparation, swelling behaviors and application of polyacrylamide/ attapulgite superabsorbent composites./ *Junping Zhang, Ruilfeng Liu, An Li, Aigin Wang* // Polymer for advanced technologies. 2006, 17: – pp. 12 – 19.
2. *Junping Zhang* Study on superabsorbent composites IX: Synthesis, characterization and swelling behaviors of polyacrylamides/ clay composites based on various clays./ *Junping Zhang, Aiqin Wang* // Reactive and Functional Polymers. – 2007. – N 67. Is. 8. – P. 737 – 74.

3. Васильев Н.Г. Природные сорбенты: свойства и реакционная способность / Н.Г. Васильев, В.В. Гончарук // – К.: Наукова Думка, 1992. – 176 с.
4. Федоренко Ю.Г. Спосіб формування тривалого індукційного періоду полімеризації / Ю.Г. Федоренко, А.М. Розко, О.Ч. Туронок, Є.О. Мазер // Патент № 90732. акумулятивний офіційний бюлетень «Промислова власність» № 11. 10.06.2014.
5. Carbopol / Bulletin IS – 10E, Revised 4-94
6. Кучерук І.М. Обробка результатів фізичних вимірювань / І.М. Кучерук, В.П. Дущенко, В.М. Андріанов – К. : «Вища школа», 1981. – 216 с.

REFERENCES

1. Junping Zhang Preparation, swelling behaviors and application of polyacrylamide/ attapulgate superabsorbent composites. Polymer for advanced technologies./ Ruifeng Liu, An Li, Aigin Wang - 2006, 17: – pp. 12 – 19.
2. Junping Zhang,. Study on superabsorbent composites IX: Synthesis, characterization and swelling behaviors of polyacrylamides/ clay composites based on various clays. / Aiqin Wang: Reactive and Functional Polymers. – 2007. – N 67. Is. 8. – P. 737 – 74.
3. V. Vasiliev Prirodnye sorbenty: svoystva i reaktivnaya sposobnost [Natural sorbents: properties and reactivity] / Goncharuk V.V. – K.: Naukova Dumka, 1992. – 176 p. [in Russian]
4. Yu. Fedorenko. Sposib formuvannia tryvalogo induktsionogo periodu polimerizatsiyi [Method of forming with long induction period of polymerization] Yu. Fedorenko, A. Rozko, O. Turonok, Ye. Mazer. / Patent № 90732. akumulativnyi ofitsiyniy “bulletin of Industrial Property” № 11. 10.06.2014 [in Ukrainian].
5. Carbopol / Bulletin IS – 10E, Revised 4-94
6. I. Kucheruk Obrobka rezultativ fizychnykh bymiruvan [Processing results of physical measurements] Dushchenko, V.M. Andrianov / – K.: «Vyshcha shkola», 1981. – 216 p. [in Russian].

ОСОБЛИВІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ЦЕМЕНТУ В БЕНТОНІТ-ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТАХ

Розко А. М., Федоренко Ю. Г.,

Розко А. Н. к. геол. н., ст. н. с. Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення НАН України ім. М.П. Семененка, al.rozko@gmail.com
Федоренко Ю. Г. н. с. б/с, ГУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України»
Павлышин Г. П. гол. матем., б/с, ГУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України»

В статті наведено результати експериментальних досліджень застосування цементу в бентоніто-полімерних композитах. Встановлено, що внесення цементу до складу сумішей, призначених для синтезу бентоніто-полімерних композитів, сприяє проявленню властивостей відновлююча, що разом з окисником – персульфатом амонію – створює окислювально-відновлююче середовище для полімеризації акрилату натрію. При цьому присутність цементу в композитах, більше ніж наявність соди, скорочує період від початку реакції до моменту її максимальної швидкості. В реакції полімеризації бентоніто-полімерних композитів з цементом можна виділити дві стадії: на першій – температура зразка піднімається на декілька градусів статична напруга зсуву зростає у 1,5÷2 рази і зразки стають пружними, на другій – температура продовжує зростати, при цьому статична напруга зсуву збільшується в сотні разів і зразки стають більш пружними, а велика кількість міжланцюгових зв'язків підтверджується незначним ступенем вільного набухання. Перехід означених композитів з пластичного у пружний стан відбувається при понижених початкових температурах (10÷14°C), що відкриває нові можливості полімеризації композитів *in situ* при виконанні гідроізолюючих робіт, створенні інженерних бар'єрів тощо.

Ключові слова: цемент, акрилат натрію, бентоніт-полімерні композити, полімеризація, ступінь вільного набухання, статична напруга зсуву.

SPECIFIC USE OF CEMENT IN BENTONITE-POLYMER COMPOSITES

A. Rozko, Yu. Fedorenko, G. Pavlyshyn

A. Rozko Ph.D. (Geology), Senior Researcher in the M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the NASU, al.rozko@gmail.com

Yu. Fedorenko Researcher in SI «Institute of Environmental Geochemistry of NAS of Ukraine»

G. Pavlyshyn Chief Specialist (Mathematics) SI «Institute of Environmental Geochemistry of NAS of Ukraine»

The article presents the results of study of use of cement in bentonite-polymer composites. It was found that the cement added to the mixtures for bentonite-polymer composites synthesis exhibits reductive features and together with an oxidizer – ammonium persulphate – creates a redox environment for sodium acrylate polymerization shortening more than soda the period from the start of the reaction to its maximum rate point. The reaction of polymerization of bentonite-polymer composites with cement proceeds in two stages: at the first stage the temperature of samples rises by several degrees, the static shear stress increases by 1,5-2 times and the samples become elastic, at the second stage the temperature continues to rise, the shear stress increases by a factor of hundreds and the samples become more elastic. The large quantity of the chains cross-links is confirmed by low free swelling capacity. The conversion of these composites from the paste-like to rubbery state proceeds at low initial temperatures ($10\div 14^{\circ}\text{C}$), which opens up new possibilities for in situ polymerization of the composites for waterproofing, feeling of cracks and joints, construction of engineered barriers, etc.

Keywords: cement, sodium acrylate, bentonite-polymer composites, polymerization, the static shear stress, free swelling capacity

УДК 553.493.68 (477)

ГЕНЕТИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ТОРИЕВОГО ОРУДЕНЕНИЯ В ДОКЕМБРИЙСКИХ ОБРАЗОВАНИЯХ УКРАИНСКОГО ЩИТА

Кузьмин А. В., Ярошук М. А.

Кузьмин А. В. ст. н. с. ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины»

Ярошук М. А. д. г.-м.н., в.н.с. ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины» marina_yaroshchuk@meta.ua

Рассмотрены существующие на территории стран СНГ классификации ториевого оруденения. Предложена классификация его на уровне генетических типов, подтипов и торийсодержащих рудных формаций для докембрийских образований Украинского щита. Выделены 5 типов ториевого оруденения: ультраметаморфический (магматический), связанный с гранитоидами; магматический, связанный со щелочными интрузиями; метасоматический; гидротермальный и терригенно-кластогенный. С использованием коэффициента интенсивности рудообразования намечены промышленные перспективы выделенных генетических типов и подтипов в пределах мегаструктур (блоков, межблоковых шовных зон Украинского щита).

Ключевые слова: генетические классификации, типы комплексных руд тория, промышленные перспективы руд тория, торийсодержащие рудные формации, коэффициент интенсивности рудообразования.

Введение

Практически все месторождения, из которых добывается торий, являются комплексными торийсодержащими редкоземельными, редкометальными или урановыми. Их промышленная ценность в отношении тория в каждом конкретном случае определяется с учетом не только содержания всех полезных компонентов, но и минеральной формой тория и наличием соответствующих технологических схем его извлечения. Единых установившихся требований к торийсодержащим рудам эндогенных месторождений не существует. Сегодня речь идет не о промышленных месторождениях собственно тория, ибо запасы его в странах СНГ официально не утверждались, а о потенциальных источниках, оценка промышленных перспектив которых лишь авторская. В связи с этим для систематизации и анализа имеющегося фактического материала по торийности докембрийских образований Украинского щита (УЩ) нами используется опыт геологоразведочных работ на уран, как хорошо изученный родственный элемент. При этом учитывается, что более высокое содержание тория в земной коре относительно урана «компенсируется» тем, что уран в рудах находится в собственной минеральной форме, а торий, главным образом, в форме торийсодержащих минералов в качестве изоморфной примеси. По данным [1] 86,7% прогнозных ресурсов тория стран СНГ заключено в эндогенных месторождениях где руды с содержанием его от 0,1 до 2,0% и выше составляют всего 4,4%. Сопоставление средних содержаний урана в эндогенных месторождениях и рудопроявлениях УЩ со средним содержанием тория тория в его рудопроявлениях показало высокое сходство. Поэтому по аналогии с урановорудными объектами [2] нами принимается следующая категоризация ториевых руд по качеству: руды с содержанием тория 0,01 – 0,049% оцениваются как убогие (забалансовые), 0,05-0,099% – как бедные, 0,1-0,299% – как рядовые, 0,3-0,499% – как среднего качества, 0,5 0- 0,999% как богатые и выше 1,0% – как очень богатые.

При определении ранга торийпроявлений по аналогии с ураном использованы следующие критерии:

– к проявлениям отнесены объекты, где есть не менее двух пересечений, из которых хотя бы одно имеет содержание тория 0,05% и выше при произведении содержания на

мощность не менее 0,035% м, или где есть лишь одно пересечение с таким же содержанием тория, но произведение содержания на мощность не менее 0,07% м;

– к проявлениям минерализации отнесены объекты с содержанием тория от 0,01 до 0,49% при любой мощности, а также единичные пересечения с содержанием тория, равным или превышающим 0,05%, если произведение его на мощность не достигает 0,035% м.

Цель работы. Обзор существующих классификаций ториевого оруденения на территории стран СНГ и разработка классификации его на уровне генетических типов, подтипов и торийсодержащих рудных формаций для докембрийских образований Украинского щита.

Результаты исследования и их обсуждение

Известны четыре, разработанные в разное время, классификации торийсодержащих месторождений и рудопоявлений. Первая [3] включала 9 генетических групп, из которых к эндогенному классу относились магматические, пневматолитовые, мигматитовые, карбонатитовые, пневматолито-гидротермальные и гидротермальные объекты, а к экзогенному – континентальные, прибрежно-морские и метаморфизованные россыпи. В монографии [4] детально рассмотрены торийсодержащие карбонатитовые комплексы, а также группы торийсодержащих пневматолито-гидротермальных и средне-низкотемпературных гидротермальных месторождений. Позднее были разработаны классификации торийсодержащих месторождений и рудопоявлений уже на формационном уровне. В 1975 году [5] в эндогенном классе были выделены 23 формаций, включающих 30 минеральных типов. В ходе дальнейших работ к 1995 году эта классификация претерпела существенные изменения [1]. В эндогенном классе определились 6 торийсодержащих рудных формаций и 19 минеральных типов. Это в значительной мере связано с тем, что вначале некоторые формации и особенно минеральные типы были выделены на базе ограниченного количества объектов и дальнейшие исследования не подтвердили устойчивое распространение выделенных ассоциаций в отношении как рудной минерализации, так и вмещающих породных комплексов.

Первая попытка классификации ториевого оруденения в пределах УЩ была сделана в 2007 году [6]. До этого времени на Украине никаких специальных геолого-разведывательных или научно-исследовательских работ на торий в породах докембрия не проводилось, а информация о его концентрациях появлялась лишь попутно при поисках и изучении урановых, и в меньшей мере, редкоземельных месторождений и ограничивалась фиксацией содержания тория, мощности пересечения и наименования вмещающей породы. Лишь изредка изучался состав и изотопный возраст ториевой минерализации. Поэтому классификация выполнена лишь на уровне генетических типов. В эндогенном классе выделены магматический (ультраметаморфический), связанный с гранитоидами, магматический, связанный со щелочными интрузиями, метасоматический и гидротермальный; в метаморфическом – осадочный метаморфизованный, а в экзогенном – осадочный терригенный генетические типы.

В 2010 году [7] сделана попытка на основе вещественно-структурной характеристики в основном эндогенного оруденения в породах УЩ выделить около 10 ториевых рудных формаций: редкометальных (редкоземельных) гранитов, фтор-редкометально-редкоземельной в щелочных сиенитах, редкометальной в нефелиновых сиенитах Приазовья, уран-редкоземельных биотит-микроклиновых метасоматитов, редкометально-редкоземельной в лейкогранитах, редкометально-редкоземельной в гранитах рапакиви, фтор-карбонат-редкоземельно-редкометальной в вулканитах, редкометальной скарновой, фосфор-редкоземельно-редкометальной в карбонатитах, ряда формаций, связанных с пегматитами. Большинство из них охарактеризованы довольно схематично, особенно редкоземельно-редкометальная в гранитах рапакиви, фтор-карбонат-редкоземельно-редкометальная в вулканитах, редкометальная скарновая и формации, связанные с

пегматитами. К формации редкометальных гранитов отнесены довольно неоднородные образования: жильные тела моноцитонных лейкогранитов, граниты Токовского и Салтычанского массивов, обогащенные ортитом, Анадольское месторождение ортитовых руд, связанное со щелочной интрузией. В то же время монацитонные лейкограниты определяют редкометально-редкоземельную формацию в лейкогранитах. Относительно самого термина «ториевая рудная формация» следует заметить, что в пределах УЩ ни одна из выделенных формаций не вмещает собственно ториевых не только месторождений, но и рудопроявлений. На разведанных комплексных торийсодержащих редкометальных, редкоземельных и урановых месторождениях запасы тория не определялись даже в авторском варианте. Поэтому выделенные формации следует относить не к ториеворудным, а к торийсодержащим.

Предлагаемая генетическая классификация ториевого оруденения в докембрийских образованиях УЩ

За основу для дальнейшей разработки мы приняли классификацию, приведенную в работе [6]. Более детальное изучение материалов по ториепроявлениям позволило, главным образом по составу вмещающих пород, в каждом генетическом типе выделить несколько подтипов, а с учетом данных [8] по составу рудной минерализации в большинстве подтипов наметить торийсодержащие рудные формации. В то же время, оруденение, ранее отнесенное к метаморфическому классу, оказалось целесообразным рассматривать в экзогенном классе в качестве осадочного терригенного метаморфизованного подтипа терригенно-кластогенного генетического типа, представленного континентальными россыпями. Более правильным представляется оруденение ранее выделенного магматического (ультраметаморфического), связанного с гранитоидами, генетического типа отнести к ультраметаморфическому (магматическому), связанному с гранитоидами, типу (таблица 1).

Таблица 1. Генетическая классификация ториепроявлений в докембрийских образованиях Украинского щита

Генетический тип	Генетический подтип	Вероятные торийсодержащие рудные формации	Индекс подтипа
I. Ультраметаморфический (магматический), связанный с гранитоидами.	1. Граниты и мигматиты.		I-1
	2. Граниты аплит-пегматоидные	Акцессорная урано-ториевая минерализация Акцессорная урано-ториевая минерализация	I-2
	3. Пегматиты	Акцессорная урано-ториевая минерализация	I-3
II. Магматический, связанный со щелочными интрузиями	1. Образования габбро-сиенитовой формации	а) Редкометальная торийсодержащая в нефелиновых сиенитах.	II-1a
		б) Фтор-редкометально-редкоземельная торийсодержащая в безнефелиновых сиенитах	II-1б
	2. Образования щелочной ультраосновной формации	Фтор-торий-редкоземельная в линейных карбонатитах	II-2
III. Метасоматический.	1. Образования, обусловленные глубинными флюидизатами	Редкоземельно-ториевая на участках развития флюидизитов	III-1
	2. Калиевые метасоматиты, связанные постгранитизационными процессами.	Уран-торий-редкоземельная в высокотемпературных приразломных калиевых метасоматитах	III-2
	3. Существенно натриевые метасоматиты, связанные с внедрением щелочных интрузий.	Редкометально-редкоземельная в торийсодержащих фенитах	III-3

IV. Гидротермальный	1. Образования, связанные с тектоно-термальной активизацией в земной коре.	Жильно-штокверковые и метасоматические тела комплексных, иногда ториевых руд, контролируемые разрывными структурами. возможно несколько формаций	IV-1
	2. Натрий-цирконий-фосфорные метасоматиты зон разломов.	Урановая торийсодержащая в приразломных натриевых метасоматитах	IV-2
V. Терригенно-кластогенный	1. Осадочный терригенный метаморфизованный	Урано-ториевая в докембрийских конгломератах.	V-1
	2. Осадочный терригенный	Континентальная, в основном монацитовые, россыпи	V-2

Распределение ториепроявлений по генетическим типам (подтипам) на территории щита довольно неравномерно (таблица 2). Большинство их (57,2%) относится к ультраметаморфическому (магматическому), связанного с гранитоидами, типу. Они распространены на всей территории щита. Второе место по количеству (24,3%) занимают проявления метасоматического типа, также распространенные на всей его территории. Подчиненное значение по количеству имеют ториепроявления гидротермального (11%), терригенно-кластогенного (4%) и магматического, связанного со щелочными интрузиями, генетических типов. Оруденение гидротермального типа встречено на всей территории щита, терригенно-кластогенного – на южных склонах Подольского и Белоцерковского мегаблоков, а также в южной части Ингулецко-Криворожской шовной зоны, магматического, связанного со щелочными интрузиями – почти целиком в пределах Приазовского блока.

Таблица 2. Распределение ториепроявлений по генетическим типам (подтипам) в мегаструктурах Украинского щита

Индекс генетического типа (подтипа) ториевого оруденения	Ранг ториепроявлений	Мегаструктуры Украинского щита						
		Волынский мегаблок	Подольский мегаблок	Белоцерковский мегаблок и Голованевская шовная зона	Ингульский мегаблок и Ингулецко-Криворожская шовная зона	Приднепровский мегаблок	Приазовский мегаблок и Орехово-Павлоградская шовная зона	Украинский щит
I-1	Проявления минерализации.	36	57	126	198	18	56	491
	Рудопроявления	–	8	4	6	–	2	20
I-2	Проявления минерализации.	19	19	39	35	10	12	134
	Рудопроявления	–	4	3	3	1	–	11
I-3	Проявления минерализации.	10	14	33	35	14	12	118

	Рудопроявлення	1	3	1	3	1	2	11
II-1	Проявлення минерализации. Рудопроявлення	— 1	— —	— —	1 —	3 —	24 12	28 12
II-2	Проявлення минерализации. Рудопроявлення	— —	— —	— —	— —	— —	3 1	3 1
III-1	Проявлення минерализации. Рудопроявлення	— —	44 19	73 15	45 10	5 1	34 8	201 53
III-2	Проявлення минерализации. Рудопроявлення	— —	2 —	23 4	18 —	— —	3 —	46 4
III-3	Проявлення минерализации. Рудопроявлення	— —	— —	— —	3 —	4 —	16 8	23 8
IV-1	Проявлення минерализации. Рудопроявлення	9 10	4 2	11 7	12 9	20 11	10 9	66 48
IV-2	Проявлення минерализации. Рудопроявлення	— —	— —	— —	31 7	— —	— —	31 7
V-1	Проявлення минерализации. Рудопроявлення	— —	— —	1 —	17 3	— —	— —	18 3
V-2	Проявлення минерализации. Рудопроявлення	— —	11 4	18 1	— —	— —	— —	29 5
Всего	Проявления минерализации. Рудопроявления	74 12	151 40	324 35	395 41	74 14	170 41	1188 183
	Всего ториепроявлений	86	191	359	436	88	211	1371

Характеристика генетических типов ториепроявлений

Ультраметаморфический (магматический), связанный с гранитоидами, генетический тип. Гранитоиды различных петрогенетических групп [9] занимают около 80% территории щита, однако гранитообразование не привело к возникновению значительных концентраций тория, которые бы могли заинтересовать промышленность. Скопления радиоактивных акцессорных минералов в гранитоидах всех подтипов имеют гнездово-шпировый характер и не имеют значительных объемов. По содержанию тория руды в рудопроявлениях в основном бедны и сложены монацитом, цирконом, ортитом, апатитом, иногда ксенотимом, а в субщелочных разностях к ним добавляются циртолит, бастнезит, иногда торит и рабдофанит. В жильных пегматоидных гранитах и пегматитах появляется высокотемпературный торийсодержащий уранинит. Среди ториепроявлений этого типа рудопроявления составляют лишь 5,6%, в том числе в гранитах и мигматитах - 4,1%, в гранитах пегматоидных - 8,0% и в пегматитах - 9,9%, что обусловлено общим повышением содержания актиноидов в гранитоидах поздних и заключительных фаз гранитообразования.

Распределение тория в гранитоидах различных петрогенетических групп рассмотрено нами в работе [10]. Автохтонные гранитоиды архея и палеопротерозоя характеризуются

низким содержанием тория. Лишь в прогрессивных палингенно-метасоматических (кировоградский, житомирский комплексы) или регрессивных (уманский, гайсинский комплексы) гранитоидах палеопротерозоя оно достигает кларковых значений. Заметно повышенное содержание тория характерно для аллохтонных гранитов неоархея (токовский, мокромосковский комплексы), палеопротерозоя (новоукраинский комплекс) и, особенно, редкометальных лейкогранитов (апогранитов) мезопротерозоя (пержанский, каменногильский комплексы), где оно достигает значения $46 \cdot 10^{-4}\%$ при коэффициенте вариации 38%. Однако даже в отношении существенно микроклиновых гранитов Токовского массива, где среднее содержание тория достигает $75 \cdot 10^{-4}\%$, можно говорить лишь об их геохимической (а не металлогенической) специализации на торий, ибо коэффициент вариации содержания тория в них не превышает 40%.

Магматический, связанный со щелочными интрузиями, генетический тип. Щелочной интрузивный магматизм в основном развит в восточной части Приазовского мегаблока. Ториевое оруденение здесь связано, главным образом, с породами габбро-сиенитовой формации южно-кальчикского и октябрьского комплексов. Несколько рудопроявлений тория отмечено в образованиях щелочного покрово-киреевского комплекса герцинского возраста. Значительно меньше в пределах этого мегаблока распространено ториевое оруденение в породах щелочной ультраосновной формации, составляющих черниговский комплекс в западной и ряд проявлений линейных карбонатитов в восточной его частях. За пределами Приазовского мегаблока ториепроявления в образованиях габбро-сиенитовой формации встречены в связи с Коростенским и Корсунь-Новомиргородским плутонами анортозит-рапакивигранитной формации. Однако заметное обогащение торием на уровне рудопроявлений отмечено лишь в Ястребецкой щелочной интрузии в северо-западном экзоконтакте Коростенского плутона. Проявления ториевой минерализации вмещает и Малотерсянский щелочной массив в крайней северо-восточной части Приднепровского мегаблока.

Таким образом, в этом генетическом типе определились два подтипа ториевого оруденения – в образованиях габбро-сиенитовой и щелочной ультраосновной формаций, имеющих отличия как в минеральном составе, так и времени образования. Появление ультраосновной щелочной формации связано с ультраметагенной протоактивизацией в конце палеопротерозоя, а габбро-сиенитовой – с автономной активизацией в мезопротерозое.

II-1. Оруденения в образованиях габбро-сиенитовой формации составляет 76,2% всех ториепроявлений этого типа. Формация включает две субформации – вмещающую нефелин и безнефелиновую, имеющие отличия в составе и характере оруденения.

II-1а. Представителем ториевого оруденения в породах первой субформации является Мазуровское месторождение в пределах Октябрьского щелочного массива, отнесенное к редкометальной рудной формации в нефелиновой сиенитах и охарактеризованное в работах [8, 11]. Здесь оруденение прослежено по простиранию до 3 км и на глубину 600 м. Рудные тела сложены мариуполитами, сиенит-пегматитами и полевошпатовыми метасоматитами в виде жилообразных тел мощностью до нескольких десятков метров. Оруденение представлено пироксеном и цирконом, в меньшей степени – бритолином, бастнезитом, ортитом. Среди лантаноидов преобладают элементы иттриевой группы. В нефелиновых сиенитах отмечены включения ферриторита. Содержание тория в отдельных интервалах по скважинам достигает 0,25% на мощность 2,6 м и 0,22% на 2,0 м, где, кроме пироксена отмечены торит, ортит и ксенотим.

II-1б. Наиболее изученным представителем оруденения в породах безнефелиновой субформации является Азовское месторождение в пределах Володарского массива южно-кальчикского комплекса, охарактеризованного в работах [8, 11, 12, 13]. Оно отнесено к фтор-редкометально-редкоземельной рудной формации [8]. Основная масса оруденения здесь приурочена к пироксен - и оливинсодержащим сиенитам. Основным

торийсодержащим минералом является бритоцит, присутствуют иттриобритоцит, ортит, монацит, бастнезит. Продуктивная зона имеет мощность до 70 м на флангах и до 450 м в центральной части, прослежена по простиранию на 1800 м и на глубину до 600 м. Содержание тория в бритоците до 1,1%, а в ортите до 0,4% [12]. Содержание лантаноидов, в основном цериевой группы, в руде достигает 12,7%, иттрия – 8,5%, а тория в среднем 0,048% [13]. В пределах месторождения установлен ряд пересечений по скважинам с содержанием тория 0,11% на мощность 3,2 м, 0,09% на 2,6 м, 0,2% на 1,2 м. Бритоцит по своим свойствам и содержанию лантаноидов и тория значительно уступает монациту, что обусловило низкие показатели технологического исследования руд [11].

По данным [14] оруденения обоих месторождений обусловлено обогащением первичного расплава после основной стадии кристаллизации рудогенными элементами за счет привноса их глубинными мантийными флюидами.

II-2. Оруденение в образованиях щелочной ультраосновной формации составляет 23,8% ториепроявлений, отнесенных к этому типу. В Восточном Приазовье выявлено небольшое Петрово-Гнутовское месторождение, представленное жильным телом мощностью до 3 м, по простиранию на 1 км и на глубину до 150 м. Оно сложено кальцитом с тонкой вкрапленностью флюорита, паризита, бастнезита и контролируется зоной глубинного Кальмиусского разлома. О карбонатитовой природе этого образования свидетельствует фенитизация вмещающих пород, наличие лантаноидов цериевой группы и церийсодержащего флюорита, а также палеопротерозойский возраст оруденения. Местами содержание редкоземельных фторкарбонатов достигает 15-20%. Содержание тория в штуфах составляет 0,026-0,4%, иногда достигая 7,8%. Подобные проявления минерализации установлены к северо-востоку от месторождения вдоль зоны Кальмиусского разлома. По данным [8] это оруденение может быть отнесено к линейным фторсодержащим редкоземельным карбонатитам, аналогичных уникальному месторождению Маунтин-Пасс (Калифорния).

К этой формации также относится Новополтавское фосфор-редкометальное месторождение в образованиях черниговского комплекса [11] в Западном Приазовьи. Здесь карбонатиты кальцит-доломитового состава, щелочные и нефелиновые сиениты, а также перидотиты и фениты образуют кулисообразно залегающие тела мощностью до 100 м, прослеженные на протяжении нескольких километров вдоль зоны глубинного Черниговского разлома, при максимальной общей мощности 700 м в районе месторождения. Почти всё оруденение сконцентрировано в карбонатитах в форме апатита, пирохлора, фергусонита, гатчеттолита, циркона, монацита. Лишь в отдельных пробах отмечено присутствие тория на уровне 0,01-0,02%. В пирохлоре и гатчеттолите торий вообще не обнаружен, даже монацит содержит его в весьма малом количестве.

Метасоматический генетический тип. Этот тип торийсодержащего оруденения включает три подтипа: образования, обусловленные глубинными флюидизатами, калиевые метасоматиты, связанные с постгранитизационными процессами и существенно натриевые метасоматиты, фениты, связанные с внедрением щелочных интрузий.

III-1. Подтип образований, обусловленных глубинными флюидизатами, составляющий 75,7% всех ториепроявлений этого типа, выделен, главным образом, из массы ториепроявлений, ранее [6] отнесенных к магматическому (ультраметаморфическому), связанному с гранитоидами, генетическому типу. Толчком к этому послужило то, что эти проявления отличаются аномально высоким торий-урановым отношением в сравнении со средними значениями для соответствующих гранитоидных комплексов. В ряде случаев уран вообще не фиксируется по данным опробования. Рассмотрение их пространственного размещения показало, что обычно они приурочены к зонам глубинных разломов, особенно Голованевской и Ингулецко-Криворожской шовным зонам, или к площадям проявления мантийного диапиризма [15], начавшегося в конце палеопротерозоя и имевшего

многоэтапное развитие. Такие площади отличаются наличием интрузий щелочных пород, регрессивных или ремобилизованных автохтонных, а также аллохтонных гранитоидов, широкой проявленностью высокотемпературных метасоматических изменений и флюидизатно-эксплозивной деятельности [16, 17]. В связи с тем, что ториевое оруденение, связанное с глубинными флюидизатами, ранее не рассматривалось, остановимся на его характеристике более подробно.

Довольно широко ториепроявления с аномально высоким торий-урановым отношением распространены в пределах южной части Подольского мегаблока, сложенной гранитоидами ремобилизованного бердичевского и регрессивного побужского комплексов и осложненной узлами пересечения зон глубинных долгоживущих разломов – Немировской, Подольской и Хмельникской, а также Чапаевского и Тарасовского региональных разломов. Здесь установлены малые интрузивные тела образований проскуровского щелочного комплекса, проявления фенитизации, скарнирования и флюидизатно-эксплозивной деятельности, ультраосновные породы герцинского возраста [17], а также эпигенетические пегматоидные граниты и калишпатовые метасоматиты, которые некоторые исследователи относят к флюидизатам [18]. В целом метасоматические изменения в породах выражены калишпатизацией, биотитизацией, окварцеванием, альбитизацией, графитизацией.

На этой территории выявлено 91 ториепроявление, в том числе 29 рудопроявлений, из которых 55 (60,4%), в т.ч. 16 рудопроявлений (55,2%) имеют торий-урановое отношение от 50 до 220 (при среднем значении для гранитоидов УЩ 6,37 и аномальном 17,8 [10]). Лишь одному рудопроявлению свойственны черты гидротермального происхождения, а 12 отнесены к ультраметаморфическому (магматическому), связанному с гранитоидами, типу, не имеющему промышленных перспектив, и характеризуют субстрат, по которому развивалось эпигенетическое оруденение других типов. Таким образом, оруденение с аномально высоким торий-урановым отношением определяет металлогенический облик этой территории, а сложенные им рудопроявления имеют содержание тория от 0,05 до 0,87% на мощность 0,5-11,7 м при содержании урана 0,0004-0,004% (на Ровском рудопроявлении при содержании тория 2,2% содержание урана не превышает 0,01%). Торийсодержащим минералом в основном является монацит, в меньшей мере циркон, апатит, ксенотим. Оруденение приурочено к эпигенетическим гранитам пегматоидным, реже к чарнокитам побужского комплекса. Наиболее известными из этих ториепроявлений является Сабаровское, Николаевское, Майдан-Голосковское и Ровское [11]. Отсутствие заметных диафторических изменений во вмещающих оруденение породах свидетельствует о высокотемпературном режиме его формирования. В то же время, оно существенно отличается от оруденения в высокотемпературных приразломных калиевых метасоматитах привносом лишь тория, то есть его нельзя рассматривать как непосредственно связанное с постгранитизационными процессами при палингенно-метасоматическом гранитообразовании, для которого характерен привнос как урана, так и тория.

Характеризуемая территория определилась как Подольская редкоземельно-ториеносная металлогеническая область, расположенная над западным крылом Гайсинской криптоинтрузии (мантийного диапира), имеющей «шляпу» диаметром около 100 км и залегающей на глубине 18-35 км [17]. Особенностью области является повышенная монацитоносность, причем, в отличие от гранитоидов бердичевского и других комплексов УЩ, где акцессорный монацит образовался одновременно с породообразующими минералами, гранитоиды побужского комплекса характеризуются более сложным его формированием, на что обратили внимание исследователи [19, 20, 21]. Сингенетический, с формированием гнейсов пироксен-плагиоклазовых, мигматитов гранат-пироксеновых и гранитоидов бердичевского комплекса, монацит с изотопным возрастом в диапазоне от 3300 до 2200 млн. лет [11] содержит от 3,55 до 7,4% тория, в то время как в монаците из гранитов пегматоидных и чарнокитов побужского комплекса с возрастом 2100-1830 млн. лет содержание его составляет 11,28-12,9%. При этом древние монациты содержат 0,44-0,78%, а

монациты побужского комплекса - 0,08-0,11% U_3O_8 [21]. Согласно данным [3] в наиболее распространенных монацитах, образованных из гранитной магмы, торий-урановое отношение находится в пределах 10-60. В монацитах из гранитов пегматоидных и чарнокитов побужского комплекса оно достигает значений 70 и даже 193 [21]. Это в какой-то мере поясняет наличие ториепроявлений с аномальным значением этого отношения. Однако содержание урана и тория в породах обусловлено комплексом акцессорных и породообразующих минералов, где, кроме монацита, все остальные характеризуются этим отношением на уровне ниже 1, лишь достигая иногда значений 1-2. Поэтому объяснить высокие значения этого показателя на рудопроявлениях лишь присутствием высокториевого позднего монацита затруднительно. Не исключено присутствие значительного количества тория в безминеральной форме.

При формировании чарнокитов отмечается замещение гиперстена апатитом, фторапатитом и биотитом при одновременном замещении новообразованным монацитом апатита и пироксена и развитием антипертитов. По данным [19, 21] монацит в пегматоидных гранитах ассоциируется с новообразованными биотитом, альбитом и кварцем и вместе с ними образует прожилки, рассекающие пегматоидные граниты. Появлению монацита, альбита и кварца предшествовал катаклаз пород. Новообразованный монацит находится в парагенезисе с фторапатитом и биотитом, обогащенным фтором. Это позволило полагать, что в составе растворов, давших начало образованию монациту, лантаноиды и торий находились в виде соединений, в которых фтор и фосфор играли важную роль. По данным [22], торий в магматическом расплаве способен создавать устойчивые легкоподвижные летучие соединения, а в послеинтрузивных газообразных высокотемпературных растворах он мигрировал, в основном, в форме как комплексных, так и простых фтористых соединений. О потоках мантийных растворов с высокой концентрацией тория упоминается в работе [23], а величина флюидного давления над интрузией могла втрое превышать аналогичный параметр вулканического извержения [18]. На хорошо изученном Азовском месторождении [14] установлено, что рудные участки формировались под влиянием мантийных флюидов, которые вместе с фтором несли лантаноиды и цирконий. При этом первая, наиболее высокотемпературная, волна поступления лантаноидов характеризуется резким преобладанием легких разностей, с которыми обычно связан торий. Отмечена вертикальная геохимическая зональность с ростом отношения содержания лантаноидов к содержанию циркония снизу вверх [8]. Не исключено, что значительное обогащение лантаноидами и торием относительно циркония на Николаевском, Майдан-Голосковском и Ровском участках обусловлено разной активностью этих элементов в высокомиграционноспособных растворах, являющихся производными глубинных флюидов [16].

Аномально высокое торий-урановое отношение характерно для гранитоидов регрессивного гайсинского комплекса, расположенного над криптоинтрузией, и эндебитов архейского гайворонского комплекса, расположенного над её юго-восточным крылом. Для обоих этих комплексов, сформированных по метаморфизованным в условиях гранулитовой фации архейским породам днестровско-бугской и бугской серий характерно очень низкое содержание урана при повышенном содержании тория, а по данным [24] в условиях гранулитовой фации торий выносился из пород более интенсивно, чем уран. Поэтому обогащение торием образований обоих комплексов могло произойти лишь при условии привноса его в более позднее время. По данным [25], в эндебитах установлен новообразованный монацит с изотопным возрастом 2030 млн. лет.

Учитывая особенности геологического строения Подольской металлогенической области и прилегающего района, а также характер накопления тория, возникает представление об определяющей роли в формировании здесь эпигенетического редкоземельно-ториевого оруденения глубинных флюидов или флюидизатов. По данным одних исследователей [17] эндогенное преобразование геологических формаций в земной коре происходит под воздействием метасоматизирующего влияния высокотемпературных

глубинных флюидов, обогащенных некогерентными элементами, и выражено развитием фенитизации, скарнирования, микроклинизации, образованием слюдитов и пегматоидных гранитов. Другие [18] считают, что флюидизитовые породы – это многофазные гидротермальные образования. Поскольку рассмотренное оруденение сформировано в условиях высокотемпературного режима метасоматического преобразования, считаем оправданным рассмотрение его в качестве подтипа метасоматического генетического типа.

В последнее время сформировалось представление о флюидизме как о самостоятельном явлении, по масштабу равнозначном метаморфизму или магматизму, а рудообразующие системы в земной коре являются производными глубинных флюидов, которые трансформировались в ходе взаимодействия с материалом литосферы [18, 26].

III-2. Ториепроявления в калиевых метасоматитах, связанных с постгранитизационными процессами составляют 15% всех ториепоявлений метасоматического типа и наиболее широко распространены в пределах Голованевской шовной зоны на пересечении Первомайско-Трактемировского и Алексеевско-Дашевского глубинных разломов. Здесь выявлены небольшие Южное, Лозоватское и Калиновское месторождения [27], вместе с рядом рудопроявлений отнесенные к уран-торий-редкоземельной рудной формации в высокотемпературных приразломных калиевых метасоматитах.

Жилы пегматоидных гранитов мощностью до 10 м слагают пояса, согласно с зонами разломов простирания и крутого падения протяженностью до 12 км и шириной до 500 метров. Калиевый и в меньшей мере магнезиально-железистый метасоматоз наложен в основном на швы бластотектонитов мощностью до 30 м, преимущественно наследующие тела пегматоидных гранитов. Ареалы метасоматитов имеют зональное строение, ширину до первых сотен метров и протягиваются вдоль разломов на несколько километров. Комплексное оруденение приурочено к внутренней зоне метасоматитов небольшой мощности, сложенной микроклином с небольшим количеством новообразованного биотита, и представлено торийсодержащим уранинитом, в меньшей мере – настураном и коффинитом, а также монацитом, циртолитом, торогуммитом, фторапатитом и сульфидами, в основном молибденитом. Отсутствие заметных диафорических изменений во вмещающих оруденение породах свидетельствует, что образование рудоносных метасоматитов происходило в высокотемпературных условиях. Глубина их формирования оценивается от 8 до 10 км, а изотопный возраст – в пределах 2000-1950 млн. лет. Рудоформирующий метасоматоз выражен привносом в основном урана, что отражено в снижении торий-уранового отношения в небольшом количестве новообразованного монацита по отношению к аксессуарному в пегматоидах, а также снижением его в комплексных рудах по мере роста в них содержания урана от 0,7 до 0,15. Среднее содержание тория в рудах 0,033% при содержании урана 0,05-0,07%.

III-3. Ториепроявления в существенно натриевых метасоматитах, связанных с внедрением щелочных интрузий, составляют 9,3% ториепоявлений метасоматического типа. Основная масса их, в том числе все рудопроявления, сосредоточена в восточной части Приазовского мегаблока. Охарактеризованное выше Петрово-Гнутовское месторождение и ряд подобных ему проявлений минерализации среди фенитизированных пород хлебодаровского комплекса по данным [28] находятся в пределах полосы протяженностью 27 и шириной до 11 км, контролируемой зоной Кальмиусского разлома на участке, где он пересекается с зоной Конкского глубинного разлома. Эта полоса характеризуется развитием редкоземельно-флюоритовой с торием минерализации, окварцевания и калишпатизации. Отмечены многочисленные карбонатные и карбонатно-флюоритовые жилы и прожилки с паризитом, сопровождаемые фенитизацией. Торий-редкоземельная минерализация не связана генетически с породами хлебодаровского комплекса, а обусловлена проявлением мезопротерозойской активизации, приведшей к появлению не выведенных на уровень эрозионного среза, щелочных интрузий. Образования хлебодаровского комплекса

характеризуються очень низким содержанием фтора [28], а акцессорная минерализация в них отличается от той, что отмечена на ториепроявлениях. Здесь выявлены 4 рудопроявления с содержанием тория 0,11-0,115% на мощность 0,8-0,9 м при содержании урана 0,015-0,046%.

Другим участком развития подобной минерализации является промежуток между Октябрьським и Кременевским массивами – так называемое Красновское поле жильных редкоземельных проявлений в пределах зоны Конкского разлома. Здесь рядом скважин на глубине вскрыты щелочные породы и выявлена серия флюорит-халцедоновых и карбонатных жил с содержанием лантаноидов до 0,8%, сопровождаемых фенитизацией. Установлены 3 рудопроявления с содержанием тория 0,05-0,16% на мощность 0,7-2,0 м при содержании урана 0,0015-0,046%. Оруденение представлено цирконом, малаконом, торитом, апатитом и сопровождается новообразованными альбитом, карбонатом и графитом. В восточной части этого поля находится небольшое Анадольське редкоземельное месторождение [11], рудная залежь которого мощностью до 3 м сложена флюорит-апатит-ортитовыми прожилками и прослежена на протяжении 1 км. Она сопровождается интенсивной фенитизацией вмещающих пород. В штучах установлено до 0,14% тория при содержании урана 0,02%. На участке месторождения предполагается шток щелочных пород. В пределах самих щелочных массивов отмечены новообразования альбита, эгирина, рибекита, флюорита и карбонатов на участках катаклаза и брекчирования.

Гидротермальный генетический тип. В составе этого типа выделены два подтипа: образования, связанные с тектоно-термальной активизацией (ТТА) в земной коре, и натрий-цирконий-фосфорные метасоматиты зон разломов, образование которых по последним данным [29, 30, 31] связывается с глубинными источниками. Ториепроявления первого подтипа встречены на всей территории щита, а второго ограничены пределами Ингульского мегаблока и Ингулецко-Криворожской шовной зоны. Это обусловлено ограниченным развитием оруденения урановой формации в приразломных натриевых метасоматитах [31], ранним высокотемпературным минеральным типом которой являются натрий-цирконий-фосфорные метасоматиты.

Согласно данным [32], в переносе тория в высокотемпературных гидротермальных растворах основную роль играли галогены, особенно фтор, и CO_2 . Они обуславливали возникновение устойчивых и легкоподвижных соединений как простых фторидных, так и комплексных, особенно карбонатных. В гидротермальных ассоциациях развита лишь одна собственно ториевая минеральная форма – торит (ферриторит) и значительно шире распространено вхождение тория в состав других минералов, особенно лантаноидов, циркония и ниобия. Торий может выщелачиваться из монацита и ксенотима при их метасоматическом замещении гидротермальными карбонатами и фторкарбонатами с образованием бастнезита, паризита, иттрийфлюорита. Извлеченный торий дает вторичные концентрации в форме торита и ферриторита.

IV-1 Оруденение в образованиях, связанных с тектоно-термальной активизацией в земной коре составляет 75% ториепроявлений гидротермального типа. Оно наиболее изучено в пределах Пержанского рудного узла на пересечении Суцано-Пержанской зоны глубинного разлома с Центральным региональным разломом в северной части Волынского мегаблока, охарактеризованного в работах [8, 11, 33]. Здесь апограниты пержанского мезопротерозойского комплекса вмещают редкометальную и полиметальную минерализацию, на фоне которой разведано Пержанское бериллиевое месторождение [33]. В его пределах ториевое оруденение сосредоточено не в залежах бериллиевых руд, а образует самостоятельные, согласные с ними зоны. Минералого-петрографическими исследованиями установлено более позднее образование радиоактивных минералов относительно бериллиевых. Определения изотопного возраста ториевого оруденения показали формирование его в диапазоне 450-210 млн. лет. Встреченное здесь же урановое гидротермальное оруденение имеет возраст около 1000 млн. лет. Таким образом, в пределах рудного узла фиксируется многоэтапный рудный процесс: редкометальное оруденение готского, урановое позднегерцинского и ториевое герцинского времени. Четкого

телескопирования оруденения разных этапов не отмечается. Ториевое оруденение, в отличие от оруденения предыдущих этапов, наложено не только на пержанские апограниты, но и на вулканогенно-осадочные образования Белокоровичской структуры. В отдельных пересечениях по скважинам содержание тория достигает 5% на мощность 0,4 м. В целом мощность интервалов с содержанием тория 0,1-0,2% не превышает 1,1 м, а с содержанием 0,05-0,1% – 2,4 м. Оруденение сложено торитом, ферриторитом, ураноторитом, оранжитом; присутствуют циртолит, циркон, малакон, настуран, сульфиды, а в пределах Белокоровичской структуры и торийсодержащий твёрдый битум.

Значительно менее изучено оруденение этого подтипа в северной части неоархейского Токовского гранитного массива, осложненного узлом пересечения крупных разломов, в пределах Днепровского мегаблока. Здесь урановое и ториевое оруденение контролируется локальными разломами. По тектонизированным гранитам развиты гидротермальные новообразования: хлорит, гематит, альбит, вплоть до образования альбититов. Содержание тория в рудопроявлениях колеблется от 0,055 до 0,094% на мощность 0,6-0,8 м. Урановое оруденение датировано в диапазоне 1680-570 млн. лет, а ториевое – 530-370 млн. лет. Оруденение представлено монацитом, цирконом, апатитом, ортитом и окислами урана.

IV-2. Ториепроявления в натрий-цирконий-фосфорных метасоматитах зон разломов, составляет около 25% ториепроявлений гидротермального типа. Оруденение этого подтипа наиболее развито в северной части Ингульского мегаблока, где оно в основном контролируется зоной Кировоградского глубинного разлома в экзоконтакте Корсунь-Новомиргородского плутона анортозит-рапакивигранитной формации. Здесь выявлены несколько рудопроявлений, из которых наиболее изучено Тимошевское. В его пределах натрий-цирконий-фосфорные метасоматиты, несущие редкоземельно-иттрий-урано-ториевое оруденение, развиты как по мигматитам кировоградского комплекса, так и по рапакивигоподобным гранитам. Они образуют небольшие залежи, содержащие до 0,15% иттрия, 0,03% лантана, 6% фосфора, а в отдельных штуфах количество апатита достигает 70%. Содержание тория не превышает 0,05% на мощность 3 м при содержании урана 0,04%. Оруденение представлено торитом, фторапатитом, цирконом, монацитом, настураном и коффинитом. Подобные ториепроявления встречены и в северной части Новоукраинского гранитного плутона вблизи контакта его с Корсунь-Новомиргородским плутоном, а также на глубоких горизонтах месторождений урановой формации в приразломных натриевых метасоматитах (Центрального, Севериновского, Мичуринского, Ватутинского, Желтореченского). В месторождениях они встречаются обычно на флангах или на продолжении по простиранию урановорудных залежей и имеют содержание тория на уровне первых сотых долей процента. Значительные залежи подобных руд выявлены лишь в пределах отработанного Желтореченского месторождения (Ингулецко-Криворожская шовная зона), где руды, кроме перечисленных элементов, содержат скандий, концентрирующийся в эгирине.

Терригенно-кластогенный генетический тип. В этом типе выделены осадочный терригенный метаморфизованный и осадочный терригенный подтипы. Оба они представлены погребенными, в основном монацитовыми, россыпями. Ториепроявления первого подтипа приурочены к палеопротерозойским смятым в складки и метаморфизованным базальным образованиям скелеватской свиты криворожской серии, а второго – к нижней части разреза осадков венда, плащеобразно перекрывающих фундамент юго-западного склона щита.

V-1 Ториепроявления осадочного терригенного метаморфизованного подтипа составляют 38,2% всех ториепроявлений этого типа и сосредоточены в пределах Криворожско-Кременчугской структурно-формационной зоны, являющейся частью Ингулецко-Криворожской шовной зоны. Наиболее изученным объектом здесь является небольшое урано-ториевое Николо-Козельское месторождение в замковой части Лихмановской синклинали [27]. Оруденение локализовано в пластах конгломератов мощностью от 0,3 до 3,5 м и протяженностью до 2 км, сложенных кварцевой галькой величиной 2-5 см, составляющей 65% породы.

V-2. Ториепроявления осадочного терригенного подтипа составляют 61,8% всех ториепроявлений терригенно-кластогенного типа. Они тяготеют к Подольской, Мироновско-Тальновской и Звиздаль-Залеского зонам разломов, что обусловлено формированием их в

пределах эрозионно-тектонических депрессий в кристаллическом фундаменте. Эти депрессии характеризуются повышенными мощностями осадочного чехла и развитием грубозернистых фаций в базальном слое, к которым и приурочено оруденение. Более изучено оно в линейных депрессиях Подольской зоны, где, сосредоточены все рудопроявления этого подтипа. Содержание тория в них колеблется от 0,05 до 0,1% на мощность 2,5-4,3 м. Оруденение представлено, в основном, монацитом, в значительно меньшей мере цирконом, ксенотимом и циртолитом. За пределами этой зоны содержание тория в базальном слое венда не превышает 0,02%.

Заключение

Соотношение количества рудопроявлений и проявлений минерализации различных генетических типов (подтипов) имеет металлогеническое значение и характеризует способность рудного процесса к образованию масштабных концентраций рудогенных элементов. Его можно выразить коэффициентом интенсивности рудообразования КИР [6]. Среднее его значение для ториевого оруденения в докембрийских образованиях УЩ составило 0,154 (табл. 2, 3).

Таблица 3. Величины коэффициента интенсивности рудообразования для ториевого оруденения различных генетических подтипов в докембрийских породах Украинского щита.

Индекс генетического подтипа	Значения коэффициента интенсивности рудообразования (КИР)						
	Волынский мегаблок	Подольский мегаблок	Белоцерковский мегаблок и Голованевская шовная зона	Ингульский мегаблок и Ингулецко-Криворожская шовная зона	Приднепровский мегаблок	Приазовский мегаблок и Павлоградская шовная зона	Украинский щит
I I-	не опр.	0,140	0,032	0,030	не опр.	0,036	0,041
I-2	не опр.	0,210	0,077	0,086	0,100	не опр.	0,080
I-3	0,100	0,214	0,030	0,086	0,071	0,167	0,093
II-1	не опр.	-	-	не опр.	не опр.	0,500	0,428
II-2	-	-	-	-	-	0,333	0,333
III-1	-	0,432	0,205	0,222	0,200	0,235	0,264
III-2	не опр.	не опр.	0,174	не опр.	-	не опр.	0,087
III-3	-	-	-	не опр.	не опр.	0,500	0,348
IV-1	1,110	0,500	0,636	0,750	0,556	0,900	0,727
IV-2	-	-	-	0,238	-	-	0,238
V-1	-	-	не опр.	0,176	-	-	0,167
V-2	-	0,364	0,056	-	-	-	0,172
В целом	0,149	0,270	0,109	0,105	0,167	0,243	0,154

Наибольшим его значением (0,727) выделяется гидротермальное оруденение, связанное с ТТА в земной коре. На втором месте по этому показателю (0,438) оказалось оруденение в щелочных интрузиях габбро-сиенитовой формации. Третье место (0,348) заняли оруденения в существенно натриевых метасоматитах, связанных с внедрением щелочных интрузий, четвертое (0,333) – оруденение в образованиях щелочной ультраосновной формации, представленное линейными карбонатитами. Существенно повышенным значением КИР (0,264) характеризуется оруденение, представленное глубинными флюидизатами. Заметное повышение этого показателя (0,238) относительно среднего по щиту свойственно гидротермальному оруденению в натрий-цирконий-фосфорных метасоматитах зон разломов и совсем незначительное – оруденению в неметаморфизованных (0,172) и метаморфизованных (0,167) россыпях. Низкие значения КИР имеет оруденение в калиевых метасоматитах, связанных с постгранитизационными процессами (0,087) и, особенно, всего ультраметаморфического (магматического), связанного с гранитоидами, генетического типа (0,057).

Таким образом, наиболее продуктивным в отношении формирования месторождений торийсодержащих руд можно считать оруденения гидротермального, связанного с ТТА в земной коре генетического подтипа и всё оруденение, обусловленное внедрением щелочных

интрузий. Несколько ниже оцениваются перспективы оруденения, обусловленного глубинными флюидами, хотя в пределах Подольского мегаблока его КИР имеет значение 0,432. В урановых месторождениях в приразломных натриевых метасоматитах комплексное оруденение в натрий-цирконий-фосфорных метасоматитах имеет локальный характер и не связано непосредственно с промышленными залежами урановых руд. Поэтому о попутном извлечении тория здесь речь не идет. Россыпи обоих подтипов являются глубоко погребенными и имеют ограниченные размеры при низком качестве руд. Всё ториевое оруденение ультраметаморфического (магматического), связанного с гранитоидами, генетического типа не имеет промышленных перспектив. При условии отработки небольших месторождений уран-торий-редкоземельной формации в высокотемпературных приразломных калиевых метасоматитах с бедными по содержанию урана, но хорошо обогащаемыми рудами в пределах Голованевской шовной зоны возможно попутное извлечение тория, чему способствует его минеральная форма.

ЛИТЕРАТУРА

1. Котова В.М., Скороваров Д.И. Месторождения тория СНГ и их перспективность (генетические типы месторождений). // Доклады совещания технического комитета МАГАТЭ. – Киев. 1995. – С. 87-91.
2. Каждан А.Б., Соловьев Н.Н. Поиски и разведка месторождений редких и радиоактивных металлов. – Москва: Недра. – 1982. – 280 с.
3. Каплан Г.Е., Успенская Т.А., Чирков И.В. Торий, его сырьевые ресурсы, химия и технология. – Москва. – 1960. – 224 с.
4. Невский В.А. Геология постмагматических ториево-редкометалльных месторождений. – Москва: Атомиздат. 1972. – 407 с.
5. Чирков И.В. Ториеносные рудные формации СССР // Мат-лы по геологии урановых месторождений. Вып. 40 – Москва. – 1975. – С. 46-54.
6. Анисимов В.А., Кузьмин А.В., Макивчук О.Ф. и др. Ториеносность докембрийских пород Украинского щита и его склонов // Геологический журнал. – 2007. – №3. – С. 51-58.
7. Кулиш Е.А., Комов И.П., Яценко В.Г. и др. Стратегические минеральные ресурсы Украины для ядерной энергетики. К.: Логос, 2010. – 286 с.
8. Прогнозирование рудопроявлений редких элементов Украинского щита. Донецк: Изд. Вебер. 2007. – 220 с.
9. Есипчук К.Е. Петролого-геохимические основы формационного анализа гранитоидов докембрия. Киев: Наукова думка. 1988. – 263 с.
10. Кузьмин А.В., Ярошук М.А. Распределение тория в кристаллических породах Украинского щита // Збірник наукових праць Інституту геохімії навколишнього середовища НАН України. 2015. Вип 24. – С. 24-43.
11. Металлические и неметаллические полезные ископаемые Украины. Том 1. Металлические полезные ископаемые. Киев – Львов: Изд. Центр Европы. 2005. – 739 с.
12. Мельников В.С., Возняк Д.К. и др. Азовское цирконий-редкоземельное месторождение: минералогические и геохимические особенности. // Минералогический журнал №1. 2000. – С. 42-62.
13. Стрекозов С.Н., Васильченко В.В. и др. Геологическое строение и характер оруденения Азовского месторождения. // Мінеральні ресурси України. №3. 1998. – С. 6-9.
14. Шеремет Е.М., Седова Е.Т. Генетические аспекты редкометально-редкоземельного оруденения южно-кальчикского и октябрьского комплексов Приазовья (Украинский щит). // Сквозные рудоконцентрирующие структуры. Москва: Наука. 1989. – С. 169-176.
15. Оровецкий Ю.П. Мантийный диапиризм. Киев: Наукова думка. 1990. – 172 с.

16. Лазаренко Е.Е. Термобарохимические эксплозивно-гидротермальные процессы в породах центральной части Украинского щита. // Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата геолого-минералогических наук. Львов. 1983. – 27 с.
17. Яценко Г.М., Гурский Я.С. и др. Алмазные формации и структура юго-западной окраины Восточно-Европейской платформы. Киев: УкрГТРИ. 2002. – 331 с.
18. Дерябин Н.И. Флюидизиты докембрия. Киев. ИГ НАН Украины. 1997. – 172 с.
19. Слензак О.І. Петрогенезис чарнокітового комплексу Придністровської частини Українського щита. АН УРСР. Київ. 1958. – 48 с.
20. Щербак Н.П., Алексеева К.Н., Гольденфельд И.В. и др. Возрастные взаимоотношения архейских гранитоидов бугской и подольской групп. // Труды X сессии Комиссии по определению абсолютного возраста геологических формаций. Москва: Изд. АН СССР. 1962. Ленинград. – С. 85-93.
21. Беспалько Н.А., Донской А.Н., Елисеева Г.Д. и др. Акцессорные минералы Украинского щита. Киев: Наукова думка. 1976. – 260 с.
22. Туровский С.Д., Бокинбаев К.Д., Громов А.К. К геохимии тория в процессах кристаллизационной и эманационной дифференциации. // Радиоактивные элементы в горных породах. Часть I. Тезисы докладов всесоюзного совещания в г. Новосибирске. Новосибирск. 1972. – С. 154-155.
23. Гладких В.С., Осокин Е.Д., Лебедев-Зиновьев А.А. Распределение урана и тория в эффузивных и интрузивных сериях щелочных пород. // Радиоактивные элементы в горных породах. Часть I. Тезисы докладов всесоюзного совещания в г. Новосибирске. Новосибирск. 1972. – С. 98-99.
24. Титов В.К., Билибина Т.В., Кочкин Г.Б. Уран и торий в процессах регионального метаморфизма. // Радиоактивные элементы в горных породах. Материалы Первого всесоюзного радиогеохимического совещания. Наука. Сибирское отделение, Новосибирск 1975. – С. 151-154.
25. Лесная И.М., Газенко В.А., Шумлянский Л.В. О возрасте чарнокитоидов Гайворонского блока (Днестровско-Бугский мегаблок Украинского щита). // Стратиграфия, геохронология и корреляция нижнедокембрийских породных комплексов фундамента Восточно-Европейской платформы. Тезисы докладов. Киев: Укр.ГТРИ. 2010. – С. 126-127.
26. Иванкин П.Ф., Назарова Н.И. Глубинная флюидизация земной коры и её роль в петрогенезисе соле- и нефтеобразования. Москва. 2001. – 208 с.
27. Генетические типы и закономерности размещения урановых месторождений Украины / Отв. ред. Белевцев Я.Н., Коваль В.Б.– К.: Наук. думка, 1995. – 305 с.
28. Есипчук К.Е., Шеремет Е.М., Зинченко О.В. и др. Петрология, геохимия и рудоносность интрузивных гранитоидов Украинского щита. Киев: Наукова думка. 1990. – 235 с.
29. Казанский В.И. Мантийно-коровые рудообразующие системы Украинского и Балтийского щитов: Кировоградский и Печенгский рудные районы. // Геология рудных месторождений. №6. 1997. – С. 502-519.
30. Тарасов Н.Н. Геотектоническая позиция и структура Новоукраинского урановорудного поля (Украинский щит). // Геология рудных месторождений. № 4. 2004. – С. 275-291.
31. Кузьмин А.В. Генетические особенности оруденения урановой формации в приразломных натриевых метасоматитах фундамента Украинского щита. // Збірник наукових праць Інституту геохімії навколишнього середовища НАН України. Вип 23. – С. 186-198.
32. Туровский С.Д., Бакиров Ш.А. К геохимии тория в гидротермальном процессе // Радиоактивные элементы в горных породах. Материалы Первого всесоюзного радиогеохимического совещания Наука. Сибирское отделение. Новосибирск., 1975. – С. 166-171.
33. Галецкий Л.С. Геохимическая характеристика пород пержанского комплекса Сушано-Пержанской зоны. // Геохимия. №3. 1974. – С. 24-30.

REFERENCES

1. V. Kotova., D Skorovarov Mestoroideniya toriya SNG i ih perspektivnost' (geneticheskie tipy mestoroideniy) [Deposits of thorium in the CIS and their prospects (genetic types of deposits)] // Doklady soveschaniya tehnikeskogo komiteta MAGATE`. – Kiev. 1995. – S. 87-91. [in Russian]
2. A. Kajdan, N Solov'ev. Poiski i razvedka mestoroideniy redkih i radioaktivnykh metallov [Prospecting and exploration of rare and radioactive metals]. – Moskva: Nedra. – 1982. – 280 s. [in Russian]
3. G Kaplan, T. Uspenskaya, I. Chirkov Toriy, ego syr'evy'e resursy, himiya i tehnologiya [Thorium and its raw materials, chemistry and technology]. – Moskva. – 1960. – 224 s. [in Russian]
4. V. Nevskiy. Geologiya postmagmaticheskikh torievo-redkometal'nykh mestoroideniy [Geology of the postmagmatic thorium-rare-metal deposits]. – Moskva: Atomizdat. 1972. – 407 s. [in Russian]
5. I. Chirkov. Torienosnye rudnye formacii SSSR [Thorium -bearing ore formations of the USSR] // Matly' po geologii uranovykh mestoroideniy. Vyp. 40 – Moskva. – 1975. – S. 46-54. [in Russian]
6. V. Anisimov, A. Kuz'min, O. Makivchuk i dr. Torienosnost' dokembriyskikh porod Ukrainskogo schita i ego sklonov [Thorium bearing in the Precambrian rocks of the Ukrainian Shield and its slopes]// Geologicheskii jurnal. – 2007. – №3. – S. 51-58. [in Russian]
7. E. Kulish, I. Komov, V. Yacenko i dr. Strategicheskie mineral'nye resursy Ukrainy dlya yadernoy energetiki. [Strategic mineral resources for nuclear power of Ukraine] K.: Logos, 2010. – 286 s. [in Russian]
8. Prognozirovanie rudoproyavleniy redkih elementov Ukrainskogo schita [Predicting of rare elements occurrences in the Ukrainian shield]. Doneck: Izd. Veber. 2007. – 220 s. [in Russian]
9. K. Esipchuk Petrologo-geohimicheskie osnovy formacionnogo analiza granitoidov dokembriya [Petrological and geochemical bases of formation analysis of Precambrian granites]. – Kiev: Naukova dumka. – 1988. – 263 s. [in Russian]
10. A. Kuz'min., M. Yaroschuk. Raspredelenie toriya v kristallicheskikh porodah Ukrainskogo schita [The thorium distribution in crystalline rocks of the Ukrainian shield] // Zbirnik naukovih prac' Institut geohimii` navkolishn'ogo seredovischa NAN Ukraїni. Vyp 24. 2015. – S. [in Russian]
11. Metallicheskie i nemetallicheskie poleznye iskopaemye Ukrainy [Metallic and nonmetallic minerals of Ukraine]. Tom 1. Metallicheskie poleznye iskopaemye. Kiev – L'vov: Izd. Centr Evropy'. 2005. – 739 s. [in Russian]
12. V. Mel'nikov, D. Voznyak i dr. Azovskoe cirkoniy-redkozemel'noe mestoroidenie: mineralogicheskie i geohimicheskie osobennosti [Azov zirconium and rare earth deposit: mineralogical and geochemical features]. // Mineralogicheskii jurnal №1. 2000. – S. 42-62. [in Russian]
13. S. Strekozov, V. Vasil'chenko i dr. Geologicheskoe stroenie i harakter orudeneniya Azovskogo mestoroideniya [Geologic structure and nature of the mineralization of the Azov deposit.]. // Mi'neral'ni resursy Ukrainy. – №3. 1998. – S. 6-9. [in Russian]
14. E. Sheremet, E. Sedova Geneticheskie aspekty redkometal'no-redkozemel'nogo orudeneniya yujno-kal'chikskogo i oktyabr'skogo kompleksov Priazov'ya (Ukrainskiy sch'it) [Genetic aspects of rare-metal and rare-earth mineralizations of Yuzhno-kalchikskoe and Octuabrskoe complexes of Near-Azov (Ukrainian shield)]. // Skvoznye rudokoncentriruyusch'ie struktury. – Moskva: Nauka. – 1989. – S. 169-176. [in Russian]
15. Y. Oroveckiy. Mantiyny'y diapirizm [Mantle diapirism]. Kiev: Naukova dumka. – 1990. – 172 s. [in Russian]
16. E. Lazarenko Termobarohimicheskie eksplozivno-gidrotermal'nye processy v porodah central'noy chasti Ukrainskogo sch'ita [Termobarochemical explosive-hydrothermal processes in the rocks of the central part of the Ukrainian shield]. // Avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoy stepeni kandidata geologo-mineralogicheskikh nauk. – L'vov. 1983. – 27 s. [in Russian]

17. G. Yacenko, Y. Gurskiy i dr. Almazny'e formacii i struktura yugo-zapadnoy okrainy Vostochno-Evropeyskoy platformy [Diamond formation and structure of the south-western margin of the East European platform]. – Kiev: UkrGGRI. 2002. – 331 s. [in Russian]
18. N. Deryabin Flyuidizity' dokembriya [Fluidizities of Precambrian]. Kiev. IG NAN Ukrainy'. 1997. – 172 s. [in Russian]
19. O. Slenzak Petrogenesis charnokitovogo kompleksu Pridni'strovskoi chastini Ukrains'kogo sch'ita [Petrogenesis of charnockite complex of Near-Dnistro part of Ukrainian shield]. AN URSR. Kii'v. 1958. – 48 s. [in Ukrainian]
20. N. Scherbak, K. Alekseeva, I. Gol'denfel'd i dr. Vozrastnye vzaimootnosheniya arheyskikh granitoidov bugskoy i podol'skoy grupp [Age relationships of Bug and Podolsky Archean granitoid groups]. // Trudy X sessii Komissii po opredeleniyu absolyutnogo vozrasta geologicheskikh formaciy. Moskva: Izd. AN SSSR. 1962. Leningrad. – S. 85-93. [in Russian]
21. N. Bespal'ko, A. Donskoy, G. Eliseeva, i dr. Akcessornye mineraly Ukrainskogo sch'ita [Accessory minerals of the Ukrainian shield]. Kiev: Naukova dumka. 1976. – 260 s. [in Russian]
22. S. Turovskiy, K. Bokinbaev, A. Gromov K geohimii toriya v processah kristallizacionnoy i emanacionnoy differenciacii. // Radioaktivnye elementy' v gornyh porodah [For thorium geochemistry in the processes of crystallization and emanation differentiations]. Chast' I. Tezisy dokladov vsesoyuznogo soveschaniya v g. Novosibirske. Novosibirsk. 1972. – S. 154-155. [in Russian]
23. V. Gladkih, E. Osokin, A. Lebedev-Zinov'ev. Raspreделение urana i toriya v effuzivnyh i intruzivnyh seriyah schelochnyh porod [Uranium and thorium distributions in volcanic and intrusive series of alkaline rocks]. // Radioaktivnye elementy v gornyh porodah. Chast' I. // Tezisy dokladov vsesoyuznogo soveschaniya v g. Novosibirske. Novosibirsk. 1972. – S. 98-99. [in Russian]
24. V. Titov., T. Bilibina., G. Kochkin Uran i toriy v processah regional'nogo metamorfizma [Uranium and thorium in the regional metamorphism processes]. // Radioaktivnye elementy v gornyh porodah. Materialy Pervogo vsesoyuznogo radiogeohimicheskogo soveschaniya. Nauka. Sibirskoe otделение, Novosibirsk 1975. – S. 151-154. [in Russian]
25. I. Lesnaya, V. Gazenko, L. Shumlyanskiy O vozraste charnokitoidov Gayvoronskogo bloka (Dnestrovsko-Bugskiy megablok Ukrainskogo sch'ita) [About age of charnockite species of Gaivoronsky blok (the Dniester and the Bug megablocks of Ukrainian shield)]. // Stratigrafiya, geohronologiya i korrelyaciya nijnedokembriyskikh porodnyh kompleksov fundamenta Vostochno-Evropeyskoy platformy'. Tezisy' dokladov. Kiev. Ukr.GGRI. 2010. – S. 126-127. [in Russian]
26. P. Ivankin, N. Nazarova. Glubinnaya flyuidizaciya zemnoy kory i ee rol' v petrogeenezise sole-i nefteobrazovaniya [Deep fluidization of the earth's crust and its role in the genesis of salt-and oil-formations.]. Moskva. 2001. – 208 s. [in Russian]
27. Geneticheskie tipy i zakonomernosti razmescheniya uranovykh mestorojdeniy Ukrainy [Genetic types and regularities of location uranium of deposits in Ukraine] / Otv. red. Y. Belevcev, V. Koval' - K.: Nauk. dumka, 1995. – 305 s. [in Russian]
28. K. Esipchuk, E. Sheremet, O. Zinchenko i dr. Petrologiya, geohimiya i rudonosnost' intruzivnyh granitoidov Ukrainskogo sch'ita [Petrology, geochemistry and ore-bearing of intrusive granitoids in Ukrainian shield]. Kiev: Naukova dumka. 1990. – 235 s. [in Russian]
29. V. Kazanskiy Mantiyno-korovyie rudoobrazuyusch'ie sistemy' Ukrainskogo i Baltiyskogo sch'itov: Kirovogradskiy i Pechengskiy rudnye rayony [Mantle and crust ore-forming systems of Ukrainian and Baltic shields: Kirovograd and Pechenga ore districts]. // Geologiya rudnyh mestorojdeniy. №6. 1997. – S. 502-519. [in Russian]
30. N. Tarasov. Geotektonicheskaya poziciya i struktura Novoukrainskogo uranovorudnogo polya (Ukrainskiy sch'it) [Geotectonic position and structure of the Novoukrainsky uranium ore field (Ukrainian shield)]. // Geologiya rudnyh mestorojdeniy. № 4. 2004. – S. 275-291. [in Russian]

31. A. Kuz'min Geneticheskie osobenosti orudeneniya uranovoy formacii v prirazlomnyh natrievykh metasomatitah fundamenta Ukrainskogo sch'ita [Genetic characteristics of uranium mineralization formation in the near-fault sodium metasomatic rocks of the Ukrainian Shield foundation]. // Zbirnik naukovih prac' Institut geohimi'i navkolishn'ogo seredovischa NAN Ukraini. Vip 23. - S. 186-198. [in Russian]
32. S. Turovskiy, S. Bakirov. K geohimii toriya v gidrotermal'nom processe [For thorium geochemistry in the hydrothermal process] // Radioaktivnye elementy v gornyh porodah. Materialy Pervogo vsesoyuznogo radiogeohimicheskogo soveschaniya Nauka. Sibirskoe otделение. Novosibirsk, 1975. – S. 166-171. [in Russian]
33. L. Galeckiy Geohimicheskaya harakteristika porod perjanskogo kompleksa Susch'ano-Perjanskoy zony' [The geochemical characteristics of the rocks of Perzhanskiy complex of Suschano-Perzhanskaya zone]. // Geohimiya. №3. 1974. - S. 24-30. [in Russian]

ГЕНЕТИЧНА КЛАСИФІКАЦІЯ ТОРІЄВОГО ЗРУДЕНІННЯ В ДОКЕМБРІЙСЬКИХ УТВОРЕННЯХ УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА

Кузьмін А. В., Ярошук М. О.

Кузьмін А. В. ст. н. с. ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України»

Ярошук М. А. докт. геол.-мін. н., пр. н. с. ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», marina_yaroshchuk@meta.ua

Розглянуто існуючі на території країн СНД класифікації торієвого зруденіння. Запропонована класифікація його на рівні генетичних типів, підтипів і торійвміщуючих рудних формацій для докембрійських утворень Українського щита. Виділено 5 типів торієвого зруденіння: ультраметаморфічний (магматичний), пов'язаний із гранітоїдами; магматичний, пов'язаний з лужними інтрузіями; метасоматичний; гідротермальний і теригенно-кластогенний. З використанням коефіцієнта інтенсивності рудоутворення намічені промислові перспективи виділених генетичних типів і підтипів у межах мегаструктур (блоків, міжблокових шовних зон) Українського щита.

Ключові слова: генетичні класифікації; типи комплексних руд торію; промислові перспективи руд торію; торійвмісні рудні формації; коефіцієнт інтенсивності рудоутворення.

GENETIC CLASSIFICATION OF THORIUM MINERALIZATION IN THE FORMATIONS OF UKRAINIAN SHIELD.

A. Kuz'min, M. Yaroshchuk

A. Kuz'min, Senior Research SI «Institute of Environmental Geochemistry of the NAS of Ukraine»

M. Yaroshchuk, D.Sc. (Geol.-Min.), Principal Researcher SI «Institute of Environmental Geochemistry of the NAS of Ukraine»
marina_yaroshchuk@meta.ua

The classifications of thorium mineralization which exist on the territory of the Union of Independent States are considered. Classification of thorium mineralization of Precambrian rocks of Ukrainian shield is offered. Five types of thorium mineralization are identified. They are: ultrametamorphic (magmatic) thorium mineralization which associates with granitoids; magmatic mineralization which associates with alkaline intrusions; metasomatic mineralization; hydrothermal one and terrigenous-clastogenic mineralization. Industrial prospects of identified genetic types are defined using the mineralization intensity factor.

Key words: genetic classification, complex ores of thorium, industrial prospects of thorium ores, thorium ore formations, intensity factor of mineralization.

УДК 553/495: 553.061.6 (477)

ЗАКОНОМІРНОСТІ ФОРМУВАННЯ ЕПОХ УРАНОНАКОПИЧЕННЯ В ОСАДОВОМУ ЧОХЛІ УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА

Сущук К. Г. канд. геол.-мін. н., пр. н. сп. ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України» masas@i.ua

На основі історико-геологічного аналізу формування осадового чохла Українського щита визначено закономірності виникнення в ньому епох уранонакопичення та основні фактори їхнього формування – кліматичний, геотектонічний, структурний, палеогеографічний, фаціальний. Визначено джерело рудної речовини, продуктивність окремих епох, охарактеризовано ознаки промислового уранового зруденіння. На території УЩ встановлені ранньокрейдова, пізньоеоценова і неоген-четвертинна епохи екзогенного уранонакопичення в осадовому чохлі. Для перших двох епох характерні сингенетичні, діагенетичні та екзодіагенетичні концентрації урану, що не мають промислового значення у зв'язку з малими масштабами або низьким вмістом урану та несприятливими гірничо-технологічними властивостями. Для промислового уранового зруденіння найбільш продуктивною є неоген-четвертинна металогенічна епоха. Гідрогенні ґрунтово-інфільтраційні родовища урану цієї епохи приурочені до теригенних вугленосних відкладів палеогену (переважно бучакського ярусу еоцену), що заповнюють палеодолини в кристалічних породах, а сформувались в неоген-четвертинну епоху і продовжують змінюватись у наш час.

Ключові слова: уран, Український щит, металогенічні епохи, осадовий чохол, гідрогенні родовища, фактори рудонакопичення.

Вступ

Встановлення закономірностей уранонакопичення в осадових чохлах платформ взагалі і, в тому числі, в осадовому чохлі УЩ необхідне, перш за все, для ефективного прогнозу пошуків та розвідки його промислових родовищ. Важливим інструментом цього наукового процесу є історико-геологічний аналіз осадонакопичення та магматизму даного регіону і, зокрема, аналіз еволюції палеобасейнів седиментації та областей денудації, що дає можливість виявити ряд рудоконтролюючих факторів – кліматичний, геотектонічний, структурний, палеогеографічний, фаціальний, а також джерело рудної речовини. Це дає можливість наукового обґрунтування рудоформуючого процесу, його інтенсивності, місця і часу у взаємопов'язаному ланцюгові геологічних подій.

В головну нашу задачу входить вивчення кайнозойської епохи уранового рудоутворення, з якою пов'язане формування промислових родовищ урану, з метою розширення перспектив видобутку урану рентабельним методом підземного вилуговування.

Історико-геологічний аналіз формування осадового чохла Українського щита.

Формування Українського щита (УЩ), як самостійної структури на території Східно-Європейської платформи, завершилось наприкінці протерозою. За даними О.Б.Гінтова [1] «сучасна мегаблокова структура УЩ сформувалася на межі палео- та мезопротерозою, коли щит вже виступав єдиною структурою як частина південно-західного сегменту Східно-Європейського кратону (Сарматії), а по міжблоковим глибинним зонам розломів відбулися суттєві вертикальні переміщення». У фанерозої в обрамленні УЩ накопичились потужні товщі фанерозойських відкладів, а на поверхні щита сформувався малопотужний чохол мезо-кайнозойських утворень. При цьому чохол щита має переважно кайнозойський вік, а мезозойські відклади потужністю від нуля до декількох десятків метрів розвинені лише на 2-3% його площі.

Історико-геологічний аналіз осадонакопичення в мезо-кайнозої на території УЩ дозволив виділити ряд макроциклів в історії тектонічного розвитку регіону, а саме юрський, крейдовий, палеогеновий, неогеновий, пліоцен-четвертинний. Оскільки циклічності тектонічного розвитку відповідає циклічність осадоконакопичення і пов'язаного з ним утворення корисних копалин, то визначені в мезо-кайнозої макроцикли набувають значення тектоно-седиментаційних. На протязі кожного циклу тільки на певних його стадіях створювались сприятливі умови екзогенного рудоутворення (для різнотипного зруденіння), і такі часові інтервали набували значення металогенічних епох. [2].

Ці цикли характеризувалися еволюцією трансгресивно-регресивних і континентальних режимів і формуванням відповідних груп та комплексів формацій. У діапазоні кожного циклу виділяються етапи: контрастних висот суші, передтрансгресивний, трансгресивний, початкової регресії, прискореної регресії і вирівняної суші. Між названими циклами існували певні розбіжності в характері тектонічних рухів, що призвело до деяких розбіжностей в розповсюдженості, складі, особливостях будови різновікових, але однотипних формацій та в комплексі пов'язаних з ними корисних копалин [2].

Фаціально-палеогеографічні, геоморфологічні, геохімічні, гідрогеологічні та інші умови мезо-кайнозойського седиментогенезу та рудоутворення на території УЩ визначалися різноманітними факторами – кліматом, геохімічною та металогенічною спеціалізацією області живлення, тектонічним режимом. Згідно з циклічним розвитком регіону періодично змінювався і його клімат, гумідизація якого була пов'язана з початком трансгресій, а аридизація - з регресіями. Гумідні епохи юрського, крейдового й палеогенового періодів характеризувалися перевагою надмірно вологого тропічного й перемінно-вологого субтропічного кліматів. До кінця палеогену виникли стійкі субтропічні умови, а в пліоцені встановився помірний, достатньо вологий клімат.

Металогенічна спеціалізація областей живлення при її латеральній мінливості залишалася практично незмінною в часі. До того ж до кінця палеоцену були постійними шляхи міграції й транспортування речовини, в тому числі рудної, з областей живлення в басейни седиментації – механічний, хемогенний, органічний. Ця закономірність стосувалася як сингенетичного, так і епігенетичного рудоутворення.

В цілому у післяtriasовий час як кліматичний фактор, так і фактор області живлення проявлялися більш менш стабільно й однотипно. Уся ж складність розвитку регіону в часі та в просторі обумовлювалась тектонічним режимом, який визначався сукупністю проявів коливальних та блокових рухів. Рельєф являвся опосередненим вираженням тектонічного режиму. Він виступав як ландшафтно утворюючий фактор, визначав співвідношення областей седиментації та зносу, розміщення палеогеографічних та фаціальних обстановок, напрямку і характеру древньої гідромережі (шляхів транспортування речовини та місць її фіксації), інтенсивність і співвідношення механіко- та хемогенної складових виносу (з області живлення). Таким чином, рельєф впливав на індивідуалізацію конкретних формацій, їх фаціально-геохімічний профіль та металогенічні особливості.

Багатьма дослідниками стверджується, що межі розповсюдження морських і континентальних формацій, субформацій, окремих фацій, зміна їх потужностей майже повсюди пов'язані з зонами розломів. Характерна також просторова приуроченість тих чи інших формацій до певних тектонічних блоків або їх груп. Ця закономірність характерна і для рудних концентрацій в осадовій товщі як сингенетичного, так і епігенетичного походження.

Металогенія осадового чохла УЩ

Мезо-кайнозойський осадовий чохол УЩ, сформований впродовж юрського, крейдового, палеогенового, неогенового та пліоцен-четвертинного тектоно-седиментаційних циклів, містить різновікове зруденіння сингенетичного, діагенетичного, епігенетичного походження, яке має різне промислове значення. Це різноманітні розсіпні концентрації

титанових, цирконієвих, торій-рідкоземельних мінералів, родовища бокситів й високо глиноземистих каолінів, марганцевих, уранових і залізних руд, свинцево-цинкове зруденіння, буре вугілля Дніпробасу

Поетапний, в історичній послідовності, металогенічний аналіз синхронних полігенних формацій осадового чохла УЩ дозволив виявити ті часові інтервали, які набували значення металогенічних [2,3,4]. Такими для мезо-кайнозою є середньоярська, ранньокрейдова, еоценова, олігоценна, пліоценова, неоген-четвертинна металогенічні епохи. Металогенічним епохам притаманні загальні риси, що пояснюється постійною областю живлення й порівняно схожим тектонічним режимом. Для них характерне утворення потужних каолінових і латеритних кір вивітрювання, мобілізація і диференціація речовини, виніс та відкладення речовини (у тому числі рудної) в процесі формування та руйнування кір вивітрювання. Тобто, відносно постійним був і комплекс рудних і нерудних корисних копалин. Проте існує і суттєва різниця між епохами, яка полягає в тому, що для кожної з них характерний провідний в генетичному й мінеральному відношенні тип корисної копалини.

Середньоярська металогенічна епоха характеризувалась формуванням титан-, цирконій-, оловорудних розсипних концентрацій в континентальних умовах батського і байоського віків, а також свинцево-цинкового зруденіння, сидеритів і шамозитів в морських умовах батського і келовейського віків. У ранньокрейдову металогенічну епоху утворилися континентальні титан-, цирконій-, оловорудні розсипи, боксити, високо глиноземисті каоліни апт-альбського і в меншій мірі готерив-баремського віку.

Виділяється також ранньокрейдова епоха екзогенного уранонакопичення в осадовому чохлі, що складається з двох етапів – неоком-аптського і альб-сеноманського. В неоком-аптський етап сформувалися екзодіагенетичні та епігенетичні концентрації урану в континентальній бокситоносно-вугленосній теригенній формації неоком-апту на південному схилі УЩ та в північній частині Причорноморської западини. Детальне вивчення уранових проявів в континентальних відкладах ранньої крейди південного схилу УЩ показали сполученість рудного процесу зі стадіями літогенезу вміщуючих порід [5]. Концентрації урану в осадовій товщі сприяли сульфідно-глеєвий характер пізнього діагенезу та епігенезу, що відбувалися в гумідно-кліматичну епоху, виникнення геохімічних бар'єрів і сполучення сорбції та відновлення. Сполученість рудного процесу зі стадіями літогенезу вміщуючих порід підтверджується розміщенням рудопроявів на схилах та в верхів'ях палеодолин, тісним зв'язком з областями зносу, речовим складом зруденіння і віком уранової мінералізації, який за даними В.А.Анісімова [3] співпадає з віком вміщуючи порід.

Альб-сеноманський етап відзначився діагенетичними концентраціями урану в фосфоритах глауконіт-крейдової формації на південно-західному схилі УЩ та в північно-західній частині Причорноморської западини, а також у фосфоритах терригенно-карбонатного комплексу К₂ на території всіх западин поверхні щита.

З еоценовою металогенічною епохою пов'язане формування бідних розсипних концентрацій ільменіту, каситериту та інших мінералів у прибережно-морських і континентальних умовах, в пізньоеоценову епоху сформувалися діагенетичні концентрації урану у фосфоритах терригенно-глауконітової формації пізнього палеогену на території всіх западин; в олігоцену епоху сформувалися прибережно-морські марганцеві руди, в міоцену – прибережно-морські розсипи переважно ільменіту, з пліоценовою металогенічною епохою пов'язане утворення кімерійських залізних руд. І, нарешті, неоген-четвертинна епоха ознаменувалась формуванням промислового уранового зруденіння інфільтраційного типу в бучакському ярусі еоцену.

Таким чином, на основі історико-геологічного аналізу розвитку головних геотектонічних структур та умов уранового рудоутворення у осадовому чохлі південно-західної частини Східно-Європейської платформи (в тому числі Українського щита та на його схилів) дослідниками [3] достовірно встановлені епохи уранового рудоутворення (або

накопичення підвищених концентрацій урану та супутніх елементів) і геологічні формації, сприятливі для уранонакопичення, в тому числі у промислових масштабах.

Епохи уранонакопичення в осадовому чохлі Українського щита

Утворення уранових родовищ у чохлі УЩ підпорядковане глобальній закономірності, характерній для багатьох регіонів світу [3,4]. Це дві регіонально проявлені й чітко виражені епохи епігенетичного уранового рудоутворення: кайнозойська (неоген-четвертинна), з якою пов'язане утворення епігенетичних (інфільтраційних) уранових родовищ, що контролюються окислювальною зональністю, та мезозойська (кімерійська) в яку сформувалися полігенні амагматичні (в тому числі уранобітумні) родовища, що контролюються в осадових породах відновлювальною зональністю.

З кайнозойською епохою уранового рудоутворення пов'язане формування промислових родовищ урану, придатних до видобутку урану рентабельним методом підземного вилуговування. Ці гідрогенні уранові родовища переважно ґрунтово-інфільтраційного типу (за застарілою термінологією – „пісковикового типу”) становлять основний промисловий тип екзогенних родовищ урану України. Вони приурочені до відкладів палеогену (переважно бучакського ярусу еоцену), що заповнюють палеодолини в кристалічних породах, а сформувались в неоген-четвертинну епоху і продовжують змінюватись у наш час.

У розрізі бучакських континентальних відкладів чітко виділяються три товщі – підвугільна (базальна), вугленосна і надвугільна, які в цілому складають вугленосно-теригенну формацію. Підвугільні шари розвинені тільки у нижньому вузькому врізі долин, виповнюючи їх на половину глибини. Вони представлені русловими фаціями: знизу залягають різнозерністі піски з галькою, гравієм та валунами; уверх по розтині піски стають більш однорідними, дрібно- та середньозернистими.

Вугленосна товща, що поступово замінює нижню підвугільну, побудована складно. У її складі наявні фації заплавні, озерно-болотні, у меншій мірі – руслові. Складена товща вуглистими пісками, піщанистими темними глинами, лінзами каолінів і пісковиків та містить численні поклади бурого вугілля, які нерідко займають великі площі, на багато кілометрів вздовж долин (наприклад, в Олександрійській долині – майже на 100 км). Потужність вугілля зазвичай складає перші метри, інколи (в Олександрії) досягає 8-12 м. В ряді районів простежуються два – три пласти бурого вугілля, розділених вуглистими пісками та глинами. Вугленосна товща не тільки виповнює найбільш глибоку частину долин, але й розповсюджується на нижню терасу, а інколи й на верхню.

Надвугільна товща потужністю 10-12 м утворює ще більш широкі смуги вздовж долин. Місцями вона відсутня внаслідок розмиву. Складена товща дрібно- та середньозернистими пісками й глинами, іноді вуглистими.

Виникненню неоген-четвертинної урановорудноної епохи на території УЩ сприяв цілий ряд факторів: кліматичний, гідрогеологічний та гідрогеохімічний, тектонічний, наявність сприятливих відкладів та областей живлення. Неоген-четвертинна епоха на території України характеризувалася субарідним кліматом і передсуборогенним тектонічним режимом, що сприяло широкому розвитку зон ґрунтового окислення у відкладах палеогену на Українському щиті.

На протязі довготривалого континентального режиму у фанерозої на поверхні щита сформувалася розгалужена мережа палеодолин, яка поступово заповнювалася осадовими відкладами різного типу, в тому числі насиченими компонентами із сорбційними та відновлювальними якостями. Палеодолини, як правило, розміщувались поблизу розломних зон в кристалічному фундаменті, найбільш проникливих для поверхневих вод. Виділяються крупні палеодолини першого порядку протяжністю до 100 км (Західно- і Східно-Криворізька, Нікопільська та ін.), другого порядку протяжністю до 50 км, що впадають в долини першого порядку (наприклад, Девладівська), або самостійні (Братська,

Костянтинівська, Єланець-Михайлівська та ін.), третього порядку протяжністю до 30 км (Мошоринська та ін.), а також відгалуження (отвержки) палеодолин довжиною декілька кілометрів. Глибина врізу крупних палеодолин у фундамент складає 70-90 м. Палеодолини були утворені річками, які стікали з Українського щита на північ – в морський басейн Дніпровсько-Донецької западини або на південь – в морський басейн Тетісу.

На межі раннього і пізнього пліоцену почалося формування сучасної річкової мережі, яка не співпадає з палеодепресіями. Це сприяло виникненню в осадовому чохла окислювально-відновлювальних процесів, що зумовили утворення зон окислення і пов'язаного з ним уранового зруденіння. Всі інфільтраційні (гідрогенні) родовища в осадовому чохла УЩ розміщуються на шляху руху підземних вод від вододілів до областей розвантаження. Головний вододіл на території УЩ проходить у субширотному напрямі, вододіли другого порядку розташовані між притоками рік Дніпро, Південний Буг, Молочна. Основними дренами являються русла цих річок, додатковими – русла їх притоків.

Живлення водоносних горизонтів палеогену здійснюється водами четвертинних піщано-глинистих відкладів, які збагачені киснем і містять досить значну кількість урану (в середньому $1,2 \cdot 10^{-5}$ г/л), що характерно для степової фізико-географічної зони УЩ. Підземні води бучакського горизонту теж містять уран, кількість якого змінюється від вододілів до зон розвантаження за рахунок вилуговування урану із порід. (табл.).

Таблиця. Характеристика підземних вод Саксагансько-Сурського рудного району Дніпровського басейну [3]

Водообмін	Вік та літологічний склад водоносних горизонтів	Хімічний склад підземних вод		Мінералізація г/л	Основні гази	pH	Вміст U, $\cdot 10^{-6}$, г/л
		Аніони	Катіони				
Активний	Четвертинні суглинки і супісі, піщано-глинисті відклади олігоцену	SO_4^{2-} , HCO_3^- , Cl^-	Na, Mg	1,3 – 1,9	O_2	–	12 (от 5 до 31)
	Піски міоцену–палеогену ґрунтово окислені	SO_4^{2-} , HCO_3^- , Cl^-	Na, Ca, Mg	1,55	O_2	–	15
	Докембрійські тріщинуваті породи	SO_4^{2-} , HCO_3^-	Na, Ca	1,66	O_2	7,0 – 8,0	13
	Піски середнього еоцену в зоні ґрунтово-пластового окислення	SO_4^{2-} , HCO_3^-	Na, Ca, Mg	1,5	O_2	7,0 – 7,5	70
Утруднений	Те ж, в зоні уранового зруденіння	SO_4^{2-} , Cl^-	Na, Ca, Mg	1,4	H_2S	7,5	10
	Те ж, в незмінених породах за межами рудних тіл	SO_4^{2-} , Cl^-	Na, Ca, Mg	1,4	H_2S	–	7
	Докембрійські тріщинуваті породи	SO_4^{2-} , Cl^-	Na, Ca, Mg	1,8	H_2S^*	7,0 – 8,0	3

* Eh варіює від +50 до –100 мВ

Важливим фактором умов рудоутворення є існування сучасної гідрогеохімічної зональності, в якій води, що містять кисень і уран, вниз за потоком змінюються сірководневими, що несуть в 10 разів менше урану внаслідок його відкладання на геохімічних бар'єрах. Це чітко вказує на сучасне формування уранового зруденіння.

Ще один гідрогеологічний фактор уранонакопичення, тісно пов'язаний з тектонічним, це – оживлення гідродинамічного режиму підземних вод при відкритті водоносного

горизонту річковою мережею внаслідок неотектонічної активізації Українського щита, оскільки концентрації урану залежать від формування зон ґрунтового і пластового окислення. Саме така неотектонічна активізація УЩ відбувалася на межі раннього і пізнього пліоцену, що сприяло формуванню зон окислення.

Аналіз геолого-структурних особливостей інфільтраційних родовищ Інгуло-Інгулецького району вказує на тісний зв'язок їхнього формування з неотектонічними посуваннями довгоживучих розломів у кристалічному фундаменті, переважно широтного простягання. Ряд дослідників [6] вважає, що у інфільтраційних родовищ урану Інгуло-Інгулецького рудного району спостерігається чітка геотектонічна вибірковість, яка забезпечує прояв енергійної гідродинаміки у сфері водообміну та інтенсивність ерозійних процесів. У вузлах перетину розломів відбувалося змішування тріщинних розчинів та екзогенних пластових вод. На території цих родовищ (Сафонівське, Христофорівське і Девладівське) відомі численні прояви неотектонічних рухів як в породах фундаменту, так і осадового чохла. Тут широко розповсюджені тектонічні шви із дзеркалами ковзання та борознами тертя в третинних відкладах по всьому розрізу від кори вивітрювання до пізньокрейдових, найбільш виражені в глинистих породах. Зустрічаються інтервали перемитих порід потужністю до 10 м.

Тектонічний режим в значній мірі визначає і вертикальну зональність розміщення головних типів рудоутворюючих підземних вод. Для верхньої зони інфільтрації характерні слабо мінералізовані окислювальні (що містять кисень) або слабо відновлювальні (глейові) ґрунтові та пластові підземні води в басейнах інфільтраційного типу та у верхніх горизонтах гетерогенного типу [8]. Нижче зони інфільтрації розміщується зона високо мінералізованих хлоридно-розсолених вод, мінеральний склад яких утворюється внаслідок змішування метеорних і седиментаційних вод та розчинення різноманітних солей, що містяться в породах осадових басейнів. З діяльністю окислювальних ґрунтових і пластових вод і пов'язане формування інфільтраційних родовищ урану, селену, молібдену з підвищеними концентраціями ренію, скандію, ітрію, рідкісних земель, германію. Руди контролюються зонами пластового або ґрунтового окислення та геохімічними відновлювальними бар'єрами.

Джерелом урану для формування рудних покладів служать тріщинуваті кристалічні породи фундаменту та кора їх вивітрювання. Тому велике значення має фоновий вміст урану в кристалічних породах областей живлення, які виражені неотектонічними склепінневими підняттями. Так, для Саксагансько-Сурського рудного району це Криничанський, Кудашівський та Демурінський так звані купола, кислі породи яких містять в середньому від $2,5$ до $4,5 \cdot 10^{-4}$ % урану. Навкруги цих «куполів» утворилися всі відомі в цьому рудному районі гідрогенні родовища і рудопрояви урану.

Переміщення в пліоцен – четвертинний час вододілу (області живлення) з півдня на північ грало певну роль для палеодолин, відкритих на південь. В область водозабору попадали все нові ділянки кори вивітрювання з розсіяною урановою мінералізацією паралельно зі збільшенням напірного градієнту водоносного горизонту, що сприяло уранонакопиченню.

Масштаби ураноносності бучакських вугленосних відкладів залежать від типу окислювальної зональності. З зонами поверхневого окислення, нижня межа яких співпадає з сучасним рівнем ґрунтових вод, пов'язані непромислові прояви урану. Такі зони розповсюджені переважно в північно-західній та центральній частині Дніпровського басейну. Площа їх розвитку співпадає з територією, зайнятою озерно-болотним фаціальним комплексом.

Зони ґрунтового окислення, нижня межа яких не опускається нижче урізу води ріки Дніпро, контролюють основну кількість рудних покладів у північно-східній та східній частинах Дніпровського басейну. Тут розвинена регіональна зона ґрунтового окислення у відкладах полтавської світи. Зруденіння, розміщене під нижньою поверхнею цієї зони, локалізоване у верхній частині бучакської світи, переважно у відкладах лагун і лиманів.

Зруденіння, що контролюється зонами ґрунтово-пластового окислення, тяжіє до отвержків крупних палеодолин або до бортів останніх; локалізується в алювіальних відкладах низів бучакської світи.

Зони пластового окислення більш протяжні і контролюють більш крупні та багаті рудні поклади уранових руд (Братське, Садове, Сафонівське, Девладівське родовища). Як і родовища та рудопрояви, пов'язані з зонами ґрунтово-пластового окислення, вони приурочені до комплексу річкових відкладів у центральній та південній частині Дніпровського басейну.

Отже, відклади бучацької світи середнього еоцену, що містять уранові руди, поділяються на три фаціальні комплекси: річковий, озерно-болотний та лагунно-лиманний. Найбільш широко розповсюджені відклади річкового фаціального комплексу, що заповнюють ерозійно-тектонічні палеодолини. До комплексу річкових відкладів у центральній частині Дніпровського басейну приурочені основні родовища і рудопрояви урану (Братське, Садове, Девладівське, Сафонівське, Хутірське родовища, Відрадне, Зарічне, Камишуватське та інші рудопрояви). Відклади озерно-болотного комплексу найменш ураноносні. В них виявлені Шполянське, Гаївське та інші невеликі рудопрояви і мінералізація. У відкладах лагунно-лиманного фаціального комплексу знаходяться численні рудопрояви і два промислових родовища урану – Сурське і Червоноярське. Для цих відкладів характерні інтенсивна вугленасиченість та розповсюдженість витриманих вугільних покладів.

Загальна генетична схема ґрунтово-інфільтраційних родовищ неоген-четвертинної епохи уранового рудоутворення в пісках палеорусел буровугільного Дніпровського басейну полягає в наступному [7].

Внаслідок перетікання ґрунтових вод сарматського горизонту, які містять розчинений кисень і уран, а також напірних вод кристалічного фундаменту, які мають подібні властивості, в пісках продуктивного горизонту формуються зони пластово-ґрунтового окислення. В результаті окислення піриту, інших мінералів Fe^{2+} , вуглистої речовини (вуглистої рослинної детриту) сірий і темно-сірий (до чорного) колір пісків змінюється на жовтий різної інтенсивності (від жовтуватого-білого до жовто-бурого). На границі між окисленими породами (жовтими) і неокисленими (сірими) внаслідок витрати розчиненого у воді кисню розвиваються анаеробні сульфат-відновлюючі бактерії, які вживають вуглецеву речовину, відновлюють сульфати підземних вод і продукують H_2S . Це призводить до зміни Eh з позитивного (приблизно +200 mV) на негативний (близько -250 mV) і відкладення сполук U^{4+} (оксидів або силікатів) за рахунок відновлення сполук U^{6+} (переважно гідрокарбонатних комплексів, розчинених у підземних кисеньовмісних водах). Ця загальна схема на кожному гідроґенному родовищі урану має свої відміни, які пояснюються різним складом порід водоносного горизонту, кількістю відновних речовин та їх типом (пірит, інші сульфідні, вуглиста речовина, бітуми, тощо), вмістом кисню, урану і сульфатів у воді горизонту, коефіцієнтом фільтрації, тощо.

Уранові поклади переважно пластової або лінзовидної форми, яка залежить від типу окислювальної зональності, локалізовані у вуглистих пісках, бурому вугіллі, рідше – вуглистих глинах або корі вивітрювання. Вони утворюють декілька ярусів по всьому розрізу водоносного горизонту. Протяжність рудних тіл під нижньою межею зони ґрунтового окислення – до декількох кілометрів, ширина – сотні метрів, потужність – зазвичай десятки сантиметрів, зрідка до двох метрів, вміст урану – соті долі відсотка. На виклинюванні зон ґрунтово-пластового окислення утворюються багатші рудні тіла потужністю до 4-5 м, які іноді мають форму роллів.

Як вже зазначено вище, широкий розвиток процесів формування зон окислення і пов'язаного з ними уранового зруденіння в осадовому чохлі УЩ і його схилів почалося на межі раннього і пізнього пліоцену і продовжується в даний час. Як приклад впливу сучасних процесів на збереження уранових покладів можна навести факт, що має місце в

Дніпровсько-Донецькій западині у відкладах верхнього олігоцену (берецька свита) та міоцену (полтавська свита). Грунтово-інфільтраційні уранові прояви в них в значній мірі знищені сучасними процесами окислення. Відкладення міоцену уздовж південно-західного схилу ДДВ розчленовані сучасною річковою мережею, внаслідок чого полтавські піски представляють регіонально розвинену зону грунтового окислення, в якій уранові концентрації в значній мірі окиснені і винесені.

Сучасна досить висока окисленість руд і рудовмісних відкладів на Новогур'ївському і Хуторському родовищах пояснюється їх вищим положенням щодо зони регіонального розвантаження грунтових вод. Не виключено, що у зв'язку з пониженням базису ерозії сучасними окислювальними процесами охоплені рудні тіла на багатьох уранопроявах Саксагансько-Сурського рудного району.

Висновки

Історико-геологічний аналіз осадконакопичення і тектонічного розвитку території Українського щита в мезо-кайнозой дозволив встановити закономірності виникнення і формування епох уранонакопичення в осадовому чохлі щита. Визначено основні фактори їхнього формування – кліматичний, геотектонічний, структурний, палеогеографічний, фаціальний, а також джерело рудної речовини. Це дало можливість наукового обґрунтування рудоформуючого процесу, його інтенсивності, місця і часу у взаємопов'язаному ланцюгові геологічних подій.

Визначена продуктивність окремих епох, встановлено ознаки промислового уранового зруденіння. На території Українського щита виділяються декілька епох екзогенного уранонакопичення в осадовому чохлі. Це ранньокрейдова епоха, що складається з двох етапів – неоком-аптського і альб-сеноманського, пізньоеоценова і неоген-четвертинна. Для перших двох епох характерні сингенетичні, діагенетичні та екзодіагенетичні концентрації урану, що не мають промислового значення у зв'язку з малими масштабами або низьким вмістом урану та несприятливими гірничо-технологічними властивостями. Для промислового уранового зруденіння найбільш продуктивною є неоген-четвертинна металогенічна епоха.

Грунтово-інфільтраційні родовища неоген-четвертинної металогенічної епохи (за застарілою термінологією – «пісковикового типу») становлять основний промисловий тип екзогенних родовищ урану України, що розробляються методами підземного вилуговування. Ці уранові родовища приурочені до відкладів палеогену (переважно бучакського ярусу еоцену), що заповнюють палеодолини в кристалічних породах, а сформувались в неоген-четвертинну епоху і продовжують змінюватись у наш час.

Встановлення закономірностей формування епох уранонакопичення в історії формування осадового чохла Українського щита дозволяє намітити наукові напрямки й шляхи нарощування мінерально-сировинної бази ядерної енергетики України.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кировоградский рудный район. Глубинное строение. Тектонофизический анализ. Месторождения рудных полезных ископаемых. – Киев.- 2013 -500 с.
2. Металлогения фанерозоя платформенной части Украины / [Гойжевский А.А., Скаржинский В.И., Шумлянский В.А., Суцук Е.Г. и др.] – К.: Наук. думка, 1984. – 202 с.
3. Генетические типы и закономерности размещения урановых месторождений Украины. – Киев: Наукова думка, 1995. – 396 с.
4. Шумлянский В.А., Суцук Е.Г. и др. Гидрогенное рудообразование в фанерозое Украины. // Геохимия и экология. – 2003,- вып.8. – С.82-105.
5. Суцук Е.Г. Закономерности уранонакопления в ходе литогенеза базальных отложений раннего мела на южном склоне Украинского щита. //Збірник наук. праць ІГНС. – 2010. - № 18. – С. 73-79.

6. *Калашник Г.А.* Геолого-структурные особенности экзогенно-инфильтрационных месторождений урана в Ингуло-Ингулецком рудном районе Украинского щита. // *Наук. Вісник Національного технічного університету*. – 2013. – №3. – С.11-18.
7. *Перспективи розвитку уранової сировинної бази ядерної енергетики України*. – Київ: Наукова думка, 2014. – 355 с.
8. *Суцук Е.Г.* Гидрогенные месторождения урана – природные модели поведения его в зоне гипергенеза. // *Зб. Наук. Праць ІГОС НАНУ*. – 2008. – вип.16 - С.128-135

REFERENCES

1. Kirovogradskiy rudny'y rayon. Glubinnoe stroenie. Tektonofizicheskiy analiz. Mestorojdeniya rudny'h polezny'h iskopaemy'h. [Kirovograd ore district. Deep structure. Tectonophysical analysis. Deposits of ore minerals] - Kiev. - 2013 -500 s. [in Russian]
2. Metallogeniya fanerozoia platformennoy chasti Ukrainy [Metallogeny of Phanerozoic platform part of Ukraine] / [A. Goyjevskiy, V Skarjinskiy, V Shumlyanskiy, E Sushchuk i dr.] - K.: Nauk. dumka, 1984. - 202 s. [in Russian]
3. Geneticheskie tipy i zakonomernosti razmescheniya uranovy'h mestorojdeniy Ukrainy [Genetic types and patterns of distribution of uranium deposits of Ukraine] - Kiev: Naukova dumka, 1995. - 396 s. [in Russian]
4. V Shumlyanskiy., E. Sushchuk i dr. Gidrogennoe rudoobrazovanie v fanerozoe Ukrainy'. // *Geohimiya i ekologiya*. [Hydrogenous mineralization in Phanerozoic of Ukraine] - 2003, - vyp.8. - S.82-105. [in Russian]
5. E. Sushchuk Zakonomernosti uranonakopleniya v hode litogeneza bazal'ny'h otlojeniy rannego mela na yujnom sklone Ukrainskogo sch'ita. [Regularities of uranium deposition at the process of lithogenesis of Early Cretaceous basal sediments on the south slope of Ukrainian shield] // *Zbirnik nauk. prac' IGNS*. - 2010. - № 18. - S. 73-79. [in Russian]
6. G. Kalashnik. Geologo-strukturny'e osobennosti ekzogenno-infil'tracionny'h mestorojdeniy urana v Ingulo-Inguleckom rudnom rayone Ukrainskogo sch'ita. [Geological and structural features of exogenous-infiltration uranium deposits in the Ingul-Ingulets ore district of the Ukrainian shield] // *Nauk. Visnik Nacional'nogo tehnicnogo universitetu*. - 2013. - №3. - S.11-18. [in Russian]
7. Perspektivi rozvitku uranovoi` sirovinnoi` bazi yadernoi` energetiki Ukrai`ni. [Prospects for the development of uranium resource base of nuclear power of Ukraine] - Kiev: Naukova dumka, 2014. - 355 s. [in Ukrainian]
8. E. Sushchuk Gidrogenny'e mestorojdeniya urana - prirodny'e modeli povedeniya ego v zone gipergeneza. [Hydrogenous uranium deposits - the natural behavior patterns in the supergene zone] // *Zb. Nauk. Prac' IGOS NANU*. - 2008. - vip.16 - S.128-135[in Russian]

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЭПОХ УРАНОНАКОПЛЕНИЯ В ОСАДОЧНОМ ЧЕХЛЕ УКРАИНСКОГО ЩИТА.

Суцук Е. Г. канд.геол.-мин. н., вед. н. с., ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины». patas@i.ua

Историко-геологический анализ формирования осадочного чехла Украинского щита позволил выявить ряд рудоконтролирующих факторов, которые определили возможность рудоформирующего процесса, его интенсивность, место и время. В истории тектонического развития региона выделены макроциклы (юрский, меловой, неогеновый, плиоцен-четвертичный), на протяжении которых на определённых стадиях создавались благоприятные условия экзогенного рудообразования (для разных типов оруденения). Такие временные интервалы приобретали значение металлогенических эпох. Определены закономерности возникновения эпох уранонакопления в осадочном чехле щита и основные факторы их формирования – климатический, геотектонический, структурный, палеогеографический, фациальный, а также источник рудного вещества. Определена продуктивность отдельных эпох, охарактеризованы признаки промышленного уранового оруденения. На территории УЩ установлены раннемеловая, позднеэоценовая и неоген-

четвертичная эпохи экзогенного уранонакопления в осадочном чехле. Для первых двух эпох характерны сингенетические, диагенетические и экзодиагенетические концентрации урана, не имеющие промышленного значения в связи с малыми масштабами или низким содержанием урана и неблагоприятными горно-технологическими свойствами. Для промышленного уранового оруденения наиболее продуктивной является неоген-четвертичная металлогеническая эпоха. Гидрогенные грунтово-инфильтрационные месторождения урана этой эпохи приурочены к терригенным угленосным отложениям палеогена (преимущественно бучакского яруса эоцена), которые заполняют палеодолины в кристаллическом фундаменте, а сформировались в неоген-четвертичную эпоху и продолжают изменяться в наше время. Установление закономерностей формирования эпох уранонакопления в истории формирования осадочного чехла УЩ позволяет наметить научные направления и пути наращивания минерально-сырьевой базы ядерной энергетики Украины.

Ключевые слова: уран, Украинский щит, металлогенические эпохи, осадочный чехол, гидрогенные месторождения, факторы рудонакопления.

REGULARITIES OF URANIUM ACCUMULATION EPOCHS IN SEDIMENTARY COVER OF UKRAINIAN SHIELD

E. Sushchuk Ph.D. (Geol.-Min.), Principal Researcher SI «The Institute of Environmental Geochemistry of NAS of Ukraine» mamas@i.ua

History-geological analysis of the Ukrainian Shield sedimentary cover formation allowed discovering the row of ore-controlling factors which have determined the possibility of ore-forming process, its intensity, place and time. There were macrocycles (Yura, Cretaceous, Neocene and Pliocene-Quaternary) in the history of region tectonic development, during which (at certain stages) were created favourable conditions of exogenesis ore-formation (for the different ore-types). Such time-intervals obtained the meaning of metallogenic zones. Regularities of origin of the uranium accumulation epochs in Shield sedimentary cover and the main factors of their formation – climatic, geotectonic, structural, paleogeographic, facial – and also the ore substance source were determined. The productivity of certain epochs was determined; the industrial uranium ore features were characterized. For the Ukrainian Shield territory Early Cretaceous, Late Eocene and Neocene-Quaternary epochs of exogenesis uranium accumulation in sedimentary cover were established. For the first two epochs the syngenetic, diagenetic and exodiagenetic uranium concentrations are characteristic, but they are not industrial because of small scales or low uranium concentrations and unfavorable mining conditions. For industrial uranium ores the Neocene-Quaternary metallogenic epoch is the most productive. The hydrogen ground-infiltrated uranium deposits of this epoch are associated with terrigen coal deposits of Paleocene (mainly Buchaksky Layer of Eocene), which fill up paleo-valleys in crystal basis and which have formed at Neocene-Quarter epoch and continuing to change at this time. Establishment of regularities of the uranium accumulation epochs at the history of sedimentary cover of Ukrainian Shield formation allow to trace the scientific directions and the ways to increase the mineral raw material base of Ukrainian nuclear energy.

Keywords: Ukrainian Shield, metallogenic epoches, uranium, sedimentary cover, hydrogenic deposits, factors ore- accumulation

УДК 551.242:553.04

ЕТАПИ ФОРМУВАННЯ СЕРЕДНЬОПРИДНІПРОВСЬКОЇ ЧАСТИНИ УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА ТА ЇХ РОЛЬ В СТРУКТУРНОМУ КОНТРОЛІ РУДОПЕРСПЕКТИВНИХ ДІЛЯНОК

Осьмачко Л. С. к. г. н., с. н. с., ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», osml@ukr.net.

В статті наведено наукові докази того, що Середньопридніпровська частина Українського щита є гібридною дислокаційною системою, що формувалася, як мінімум, за сім етапів дислокаційних перетворень кристалічної основи. Становлення структур перших шести етапів відбувалося в умовах поступового зниження Р-Т параметрів геологічного середовища (від гранулітової до зеленосланцевої фації метаморфізму). Більш пізні структури є постметаморфічними, які підсилюють й ускладнюють раніш усталений структурний план. Система ранжована – сформована зі складових, що відрізняються одна від іншої геолого-динамічними умовами становлення. Це підзони лінійних та субкільцевих тіл, які, в свою чергу, є структурно зональними й сформовані більш високоранговими подібними геологічними тілами. Рудоперспективні геологічні тіла займають Т-, S- структурні позиції в ранжованому тектонічному малюнку, становлення якого прив'язуємо до раннього протерозою. Зазначене має слугувати провідним пошуковим критерієм.

Ключові слова: генерації структур, дислокаційна система, рудні тіла, структурні комірки

Вступ.

Питання про взаємозалежність деформаційних етапів становлення Українського щита (УЩ) і умов їх прояву з формуванням рудоперспективних структур, зокрема в межах Середньопридніпровського мегаблоку й суміжних з ним шовних зон, є одними з найбільш дискусійних аспектів ранньодокембрійської геології регіону.

Для Середньопридніпровського мегаблоку, відносно інших мегаблоків УЩ, характерні: тонка кора (менше 40 км), складна структура розділу Мохо, розрив базальтового шару шириною до 20 км [1]. Розрив ділить мегаблок майже посередині на дві частини. В його межах товщина кори 30 км (проти звичайної 35-42 км), гранітний шар становить 12 км, діоритовий 18 км, базальтовий (гранулітовий) шар відсутній [1, 2].

Середньопридніпровський мегаблок в першому наближенні сформований двома структурно-речовинними поверхами [1-3]: нижній поверх (фундамент) представлено гнейсо-мігматитовими утвореннями палеоархею, верхній – стратифікованими, ультраметаморфічними й інтрузивно-магматичними комплексами порід мезоархею. Наявність структурного неузгодження між зазначеними поверхами виражається в різній орієнтації складчастості [1-3].

Шовні зони, що межують з Середньопридніпровським мегаблоком – Оріхово-Павлоградська (ОПШЗ) та Криворізько-Кременчуцька (ККШЗ) перетинають УЩ в субмеридіональному напрямку та трасуються за його межами. В рамках УЩ зазначені шовні зони простежуються на відстань від 150 до 300 км, відповідно, при ширині від 50-ти до 3-х км [1, 2]. Зони мають глибинну будову у вигляді пакета тектонічних пластин субвертикального падіння. Шовні зони від суміжних мегаблоків різняться за характером прояву поверхні розділу Мохо. В зонах вона фіксується в інтервалі глибин 42-46 – 53 км, в мегаблоках – на рівні ~ 40 км [1, 2]. Але найбільш яскраво шовні зони вирізняються відносно мегаблоків як глибинні лінійні зони підвищеної електропровідності [1, 2]. Зони виповнені

асоціацією кристалічних порід, назагал подібною до такої суміжних мегаблоків УЩ, водночас, для перших з них є властивими характерні (шовні) структурно-речовинні ознаки [1-3]. Для геологічних тіл ОПШЗ відомі такі цифри віку: 3,6, 3,2, 3,0, 2,8, 2,0 млрд. років; для ККШЗ — 3,2, 3,0, 2,8, 2,0 1,8-1,7 млрд. років [1, 2, 4, 5].

Виділяється декілька підходів вивчення тектонічного становлення зазначеної частини УЩ. Вони базуються на теоріях геосинкліналей [3, 6 та ін.], тектоніки плит [1-3], блокової [7 та ін.], плюмової [4, 8], та здвигової [9-13] тектоніки.

За М. П. Семененко [6], в будові кристалічного масиву Середнього Придніпров'я беруть участь три основні складчатоорогенні системи: Дніпровська північно-західного простягання, Інгулецько-Саксаганська субмеридіонального простягання, субширотна складчасто-інтрузивна. За даними М. П. Семененко в роботі [6] ОПШЗ є синклінорієм, що сформований на час Саксаганської складчастості (пізньоархейська). Він складений серією лускуватих, стиснутих складок довжиною 8-10 км, які є будинаж-структурами, що містяться серед поля гранітів.

З позицій тектоніки плит [1-3], в межах східної частин УЩ в пізньому археї відбулося потовщення земної кори із-за її скучування при зіткненні Приазовського і Придніпровського мікроконтинентів. У ранньому протерозої відбулась субдукція Придніпровського мікроконтиненту під Приазовський та Західно-Інгулецький блоки [1-3]. ОПШЗ та ККШЗ ототожнюються [1-3] із зонами зіткнення відзначених мікроконтинентів та інтерпретуються, разом з прилеглими до них краєвими частинами мегаблоків, як області перманентного розтягу-стиснення кори. Тобто, це зони більш інтенсивної переробки епіархейського фундаменту, в порівнянні з центральними частинами мегаблоків [1-3]. Закриття басейнів між мікроконтинентами, вірогідно, відбувалося не одночасно з формуванням гранітів на 2,8, 2,6 та 2,1-2,0 млрд років [1-3].

За даними [4, 8], в послідовності явищ при формуванні Середньопридніпровської й Західноприазовської мегаструктур, що обумовлені дією глибинних плюмів, виділяється 5 етапів на час 3,4-3,2, 3,2-2,9, 2,9-2,8, 2,8-2,6, 2,1-1,8 млрд. років.

Отже, незалежно від трактовок механізмів дислокаційного процесу, виділяється до п'яти і більше етапів тектонічної активізації [1-13 та ін.] Середньопридніпровської частини УЩ (Середньопридніпровський мегаблок та суміжні з ним шовні зони), а ознаки того чи іншого деформаційного явища, почасти є проявленими сумісно.

Нами проведені додаткові дослідження з метою встановлення геолого-структурних закономірностей розміщення рудних об'єктів в структурному узорі Середнього Придніпров'я у зв'язку з вирішенням задач металогенічного прогнозу.

Базовим методом роботи є структурно-парагенетичний, за [10-13].

Виклад результатів досліджень

Раніш нами було встановлено [11], що в межах ОПШЗ проявлені деформаційні утворення 7-ми генерацій. Це смугастість, структури розлінзування, сланцюватість, декілька генерацій мінеральної лінійності, крихкі шпарини. Структури кожної з генерацій відрізняються одна від іншої просторовим розміщенням, інтенсивністю прояву та речовинним наповненням. Становлення таких структур відбувається в здвиговому середовищі [за 10 та ін.], тобто їх форма та розміщення підпорядковані напрямам дії тектонічних напружень. На мікрорівні, зазначені структури формуються за допомогою дифузійних, фільтраційних та інших механізмів руху речовини. Відповідно, їх речовинне наповнення відображає Р-Т умови утворення зазначених структур. За [1-5 та ін.] ступені метаморфізму речовини дислокаційних утворень, що досліджувалися, досягали гранулітової та амфіболітової фації.

Для Криворізько-Кременчуцької шовної зони виділяються [1, 9, 10] параметри деформацій, подібні до вивчених нами в межах ОПШЗ.

Отже, Оріхово-Павлоградська та Криворізько-Кременчуцька шовні зони є складними дислокаційними утвореннями, адже формувалися як мінімум за сім етапів дислокаційних перетворень кристалічної основи. Перші п'ять із них проявились за Р-Т умов від гранулітової до зеленосланцевої фації метаморфізму, наступні – при низьких температурах. Тому з зазначеними вище віковими діапазонами ми пов'язуємо формування коротко окреслених дислокаційних структур. Незважаючи на багатоетапність та різнонаправленість деформаційних процесів в межах досліджуваних шовних зон маємо домінування субмеридіональної анізотропії на спостережених рівнях їх петро-структурної організації. Зазначене обумовлено субмеридіональною лінеаризацією різнорангових та різновікових геологічних об'єктів в одному напрямку. Таку будову як ціле можна означити як субвертикальну вторинну монокліналь, що підсилена меланжем. Від мегаблоків УЩ шовні зони відрізняються лише більш інтенсивним проявом за густотою розповсюдження субмеридіональних розломів (як на час 2,0 – 1,8 млрд років, так і фанерозойського віку) й ступенем трансформацій речовини та, відповідно, більш тотальною дезінтеграцією, переорієнтацією і переміщенням в субмеридіональному напрямку геологічних тіл, що древніші за 2,0 млрд років. В межах мегаблоків такі тіла зберігають свою відносно слабо змінену орієнтацію та речовинне наповнення, набуті при їх формуванні.

Структурний узор власне *Середньопридніпровського мегаблоку*, за даними А. Н. Казакова, В.С. Заїки-Новацького, Г.В. Заїки-Новацького, формувався в умовах декількох етапів деформацій, кожен з яких характеризувався своїм структурним парагенезом і РТ-умовами деформаційного процесу [12, 13].

Структури генерації-0, це “верстуватість” S_0 – структурно-текстурна неоднорідність, що обумовлена ритмічним чергуванням біотитових і амфіболових гнейсів, кристалічних сланців та амфіболітів [12]. Зазначена асоціація порід зазвичай фіксується дослідниками під назвою «сірі гнейси». Окрім згаданих породних складових цієї асоціації, до неї належать похідні від них мігматити і гранітогнейси. Уособлення амфіболітів та кристалічних сланців, що є підлеглими, але істотними членами асоціації, об'єднуються [2 та ін.] в аульську серію. Ступінь метаморфізму всіх різновидів порід типово амфіболітова, інколи, наприклад по р.Томаківка, відомі релікти гранулітового метаморфізму [12, 13]. Генезис верстуватості різними дослідниками розглядається неоднаково: вона має вулканічне походження, осадово-морське, тектоно-метаморфогенне [6, 7, 12].

Структури генерації-1 пов'язані з етапом “Великого метаморфізму”, що переріс у “Велику гранітизацію” [12]. Структури представлено метаморфічною й мігматитовою смугастістю, асиметричними лежачими складками, регіональною кристалізаційною сланцюватістю. Всі вони похилого залягання та сформовані за умов грануліт-амфіболітової фації метаморфізму. Загальна структурна формула етапу D_1 [12, 13] – $L_1 \parallel S_1 \parallel M_1 \parallel F_{ab_1}$, де L – лінійність, S_1 – кристалізаційна сланцюватість, M – мігматитова смугастість, F – складки, ab – їх вісьові поверхні.

Структури генерації-2, на макрорівні, це граніто-гнейсові куполи та міжкупольні зони зім'яття, що складені складчастими пакетами та інтерлітонними складками. Типовим прикладом є Саксаганський купол та його облямування [12, 13]. Р-Т умови даного етапу фіксуються на рівні амфіболітової фації. Структурна формула етапу D_2 [12] – $S_2 \parallel L_2 \parallel M_2 \parallel R \parallel F_2$, де R – в'язкі розломи міжкупольних зон зім'яття. Простягання розломів варіює, але в масштабі мегаблоку – північно-західне. Вони розвинені як серед асоціації «сірих гнейсів», так і в масивах гранітогнейсів і мігматитів [12]. Осьові поверхні складок, в межах даних розломів, паралельні та вертикальні, шарніри ундулюють під кутом 8-10°. Структурні асоціації складок і зон лінеаризації багатопорядкові з розмірами від перших десятків сантиметрів і менше до декількох десятків метрів і більше в поперечнику. У замках складок F_2 розвинена смугастість S_2 та сланцюватість. Смугастість представлена тонкими (0,5-1 см) переривчастими прошарками рожевого кварц-польовошпатового матеріалу та альпійськими жилами. Зони розвитку смугастості мають грубизну до перших метрів. Сланцюватість S_2

виражена орієнтованими стрічкоподібними скупченнями темноцвітів (біотиту та амфіболу), які паралельні осьовим площинам F_2 ; вона має місце, переважно, у замках найбільш стиснутих складок [12, 13]. Мінеральна лінійність паралельна шарнірам складок.

Внаслідок того, що структури даного етапу накладені на більш давні, в структурному малюнку території утворено поєднання складок з субгоризонтальними шарнірами (F_2) та з крутими шарнірами (рештки складок F_1). Останні представлено у вигляді малопотужних (розмірами десятки см — перші метри) лінзо-, веретеноподібних тіл, асиметричних складок з вертикальною мінеральною лінійністю, які речовинно є амфіболітами та кристалосланцями. В межах зон тотальної лінеаризації площинні елементи S_0 і S_1 повністю замінені площинами S_2 [12].

Складки F_2 — конформні витягнуті (від десятків м до декількох сотень) в плані тіла гранітогнейсів та мігматитів (гранітоїди тоналіт-плагіогранітового ряду, дніпропетровського комплексу). За [12-14], це синскладчасті ультраметаморфічні утворення, які не мають чітких меж з супракрустальними породами; в них розвинуті плоско-паралельна текстура та безліч скіалітів. Останні — різноманітних розмірів, лінзоподібних форм, розміщені згідно сланцюватості гранітоїдів, в різній мірі гранітизовані, за складом відповідають біотитовим, епідот-біотитовим і амфібол-біотитовим гнейсам, рідше амфіболітам (інколи піроксенвмістним) і кристалічним сланцям. Їх відносять до аульської серії [2, 12 та ін.].

Зазначені синскладчасті гранітоїди (групи-1, за [14]) є суттєво натрові, відносно малопружні і щільні, практично не радіоактивні, характеризуються відносно підвищеним вмістом нікелю, кобальту, олова і цирконію [14].

Структури генерації-3 — це потужні субмеридіональні зони з вергентністю як на північний захід, так і на північний схід. Вони в різній мірі розвинені по всім різновидам порід, що вище згадувалися. В умовах становлення зон D_3 відбулася ремобілізація та перерозподіл речовини вже сформованої до цього кристалічної основи [3, 12-14]. Завдяки зазначеному утворилися ланки вулкано-тектонічних зеленокам'яних структур та супутні їм автохтонні масиви тоналітового ряду (сурські, миронівські, демурінські, кудашівські та ін.).

Зеленокам'яні структури (ЗС) в центральній частині середнього Придніпров'я мають субізометричні, амебоподібні форми. Це — Верхівцевська, Сурська та Чортотликська ЗС. В крайових частинах мегаблока ЗС витягнуті і однокрилі — Конкська, Білозерська, Криворізька й Кременчуцька [1-4].

В межах зеленокам'яних утворень виділено дві серії (знизу вгору): конкську й білозерську [2 та ін.]. Нижня вікова межа конкської серії визначена як 3170 млн років. Верхня вікова межа всієї зеленокам'яної товщі — 2900-2800 млн років [2, 4, 5]. Початок формування та прояви магматизму в межах різних ЗС фіксуються з різницею в часі до 30-50-90 млн. років. Різниця, обумовлена тим що, відносно периферій мегаблоку, першими закінчилися активні процеси в центральній його частині [3 та ін.]. В цілому ж тривалість формування всіх комплексів ЗС до 150 млн. років [4].

Гранітоїдні масиви, що асоціюють з зеленокам'яними структурами, віком ~ 2950 млн. років [2, 4, 5], за [14] (групи-2), мають переважно масивну текстуру, рідше плямисту та грубосмугасту. Останнє обумовлено перемежуванням смуг з різною кількістю темноколірних мінералів без чітко вираженої їх орієнтації. Ксеноліти зустрічаються досить рідко та представлені біотит-амфіболовими гнейсами. Від гранітоїдів першої групи вони відрізняються підвищеною меланократовістю, що обумовлено переробкою разом з гранітоїдним матеріалом значної кількості порід аульської серії. За фізичними властивостями гранітоїди другої групи є як магнітні, так і немагнітні, середньої щільності, радіоактивність та величини пружних параметрів дещо вищі, ніж в гранітоїдах групи-1 [14].

Структури генерації-4 на макрорівні представлені сингранітаційними в'язкими розломами, які являють собою об'ємні тіла, просторове розміщення та конфігурація яких наслідують залягання більш давніх утворень. Їх становлення було пов'язане з накладеною на породи гранулітових й амфіболітових комплексів гранітацією у зв'язку з формуванням

порід токівського та мокромосковського гранітоїдних комплексів. Їх вік $\sim 2,7-2,8$ млрд. років [2, 4, 5]. Такі вторинні тіла (структури) порушують всі, без винятку, дислокаційні структури попередніх етапів, трансформуючи та використовуючи їх будову та речовину. Це Галещинський, Анновський, Токівський, Мокромосковський, Щербаківський гранітоїдні масиви. Ці масиви (гранітоїди третьої групи, за [14]) чітко відмежовані від вмісних порід. Вони представлені плагіомікрокліновими і мікроклін-плагіоклазовими різновидами. За хімічним складом дані гранітоїди різко відмінні від гранітоїдів двох перших груп. Це більш лейкократові породи калієвого ряду. Особливістю гранітоїдів даної групи є підвищений вміст свинцю та різко понижена концентрація елементів групи заліза, більшості халькофільних та рідких елементів. Виключеннями є цирконій і олово, вміст яких співставимий з концентраціями цих елементів в плагіоклазових гранітоїдах [14].

Автором досліджено частину Мокромосковського масиву в Янцевському кар'єрі, де відкриті сірі, дрібнозернисті граніти. В їх будові приймають участь смугастість та накладена на неї сланцюватість. Смугастість обумовлена варіаціями мінерального складу, потужності смуг різні — 3-5 см, 10-20 см. Азимут простягання смуг — 20° , азимут падіння — 110° . Сланцюватість обумовлена односистемною орієнтацією мінералів та їх агрегатів по азимуту $0-340^\circ$. В площинах сланцюватості розвинена лінійність, переважно, за агрегатами біотиту. Лінійність має кут занурення до 70° па південь (рис. 1).

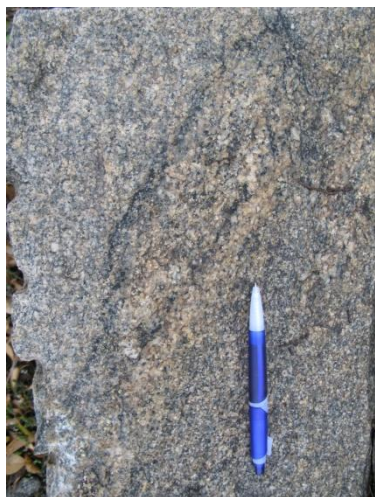


Рис. 1. а Смугастість північно-східного простягання та накладена сланцюватість меридіонального простягання в межах Мокромосковського масиву. Янцевський кар'єр. Площина горизонтальна, фото орієнтоване.



Рис. 1. б Теж саме у вертикальному субмеридіональному зрізі — площині сланцюватості. Видно субвертикальну лінійність за біотитом. Експозиція західна.

За даними [5, 7 та ін.], Мокромосковський масив сформовано декількома різновидами гранітів: найбільш розповсюджені темно-сірі дрібнозернисті, менше — біотит- та мусковітвмісні пегматоїдні. Граніти містять декілька генерацій пороодоутворювальних мінералів та ядер і оболонок доростання в акцесорних мінералах. Температура утворення провідних різновидів гранітів — $540-670^\circ\text{C}$; вік граніту за цирконом — $2827 \pm 7,2$ млн. років, за монацитом — 2700 ± 8 млн. років [5].

Коротко описані структури формуються в динамічному середовищі за умов спрямованої перекристалізації й перерозподілу речовини [10, 12 та ін.]. Подібні структури відомі і для Токівського, Щербаківського й інших масивів даної генерації [6, 7, 12].

Температури формування Токівських гранітів 650°C , $820\text{--}929^{\circ}\text{C}$ [5]. В даних гранітах декілька генерацій пордоутворювальних й акцесорних мінералів [2, 5 та ін.].

Отже, петро-структурна організація гранітоїдних масивів рубежу мезо-неоархею Середньопридніпровського мегаблоку, а саме – анізотропна гібридна будова на всіх рівнях організації, що виражена: наслідуванням ними більш раннього структурного плану, директивними структурами і текстурами порід, декількома генераціями метаморфогенних структур та породоутворювальних й акцесорних мінералів, свідчать про наступне. Досліджувані масиви є вторинними утвореннями – сформованими по більш давнім комплексам порід завдяки перекристалізаційним процесам в рухомих, імпульсних тектонічних умовах. Головним механізмом при цьому була орієнтована перекристалізація, оречовинена як метаморфогенні структури – смугастість, сланцюватість, мінеральна лінійність.

Структури генерації-5 на макрорівні представлені в'язкорозломними зонами сингранізаційної й кристалізаційно-сланцюватої течії субмеридіонального простягання та субвертикального падіння. Це, власне, шовні зони та суміжні з ними частини мегаблоку, які порушують всі, без винятку, дислокаційні структури попередніх етапів, трансформуючи та використовуючи їх будову та речовину. Головні ознаки тектонічних зон даного етапу [12, 13]: одноманітна крутопадаюча смугастість; ступінь метаморфізму майже не відрізняється від суміжних “блоків”, інколи сягає зеленосланцювої фації; характерні вторинні мігматити, слайди, що розвинені нерівномірно. Загальна структурна формула даних зон — $R \parallel F_5 \parallel S_5 \parallel M_5 \parallel L_5$, де M_5 – новоутворена лейкосома, S_5 – кліваж-сланцюватість [12]. Вік геологічних тіл, що створюють остов цих зон $\sim 2,0$ млрд років.

В межах Середньопридніпровського мегаблоку утворення даного етапу відомі у вигляді Малотерснського масиву лужних і сублужних порід, які формують лінзоподібне у плані макротіло субмеридіонального простягання. Незважаючи на мізерну кількість геологічних тіл протерозойського віку в межах Середньопридніпровського мегаблоку, все ж його докембрійський структурний ансамбль підпорядкований протерозойському структурному малюнку досліджуваної частини УЩ (рис. 2). Як відомо, протерозойський тектогенез в різній мірі проявлений в усіх мегаблоках та шовних зонах УЩ, що зафіксовано геологічними тілами відповідного віку. Найбільш інтенсивно дислокаційні перетворення на час 2,0 млрд років реалізувалися в межах шовних зон (відносно мегаблоків), що проявлено, в першу чергу, у становленні різко анізотропних, на всіх рівнях організації, геологічних тіл зазначеного віку. Останні описані [10, 11] як дислокаційні структури, переважно субмеридіонального простягання й субвертикального падіння, лінзо- шліроподібних форм, з високим ступенем внутрішньої мезо- та мікро- структурно-речовинної впорядкованості, етапів-4, 5. Ці характеристики свідчать про формування геологічних тіл нижньопротерозойського віку в здвигових умовах при Р-Т параметрах становлення речовини. В умовах здвигових трансформацій останній етап інтенсивних деформацій перебудовує всі більш ранні структурні плани, тому їх площинні елементи переорієнтуються (суб)паралельно один одному та відповідно здвиговим площинам, в даному випадку, протерозойської тектонічної активізації. Завдяки цьому утворення більш давнього віку переходять або у стан лінзоподібних тіл-реліктів різноманітних розмірів, або ж формують структури підвороту та роли. Отже, друга ознака відносно високої інтенсивності протерозойського тектогенезу в межах шовних зон, порівняно з мегаблоками, — висока ступінь лінеаризації та, відповідно, односистемне розміщення, різнорангових як більш давніх геологічних тіл, так і протерозойського віку, в субмеридіональному напрямку.

Такі перетворення проявлялись хвилеподібно – з поступовим спадом їх ознак, в напрямку від осьових частин шовних зон до центральних частин мегаблоків [1-4, 10]. Тобто і останні є задіяними трансформаціями, які проявлені в шовних зонах, але менш інтенсивно. За рахунок залучення в інтенсивний процес лінеаризації суміжних блоків вони набули (зокрема Середньопридніпровський) обрисів та статусу тектонолінз, що обтікаються

субмеридіональними «безграничними» розломними зонами. Навіть можна сказати, що не зони є міжблоковими, а блоки – міжзонними.

Отже, структурний ансамбль досліджуваної частини Українського щита (Середньопридніпровський мегаблок та суміжні шовні зони) є цілісною дислокаційною системою здвигу та ротації (рис. 2). В межах системи виділяються складові (підзони) лінійних та субкільцевих тіл. Всі вони є композитними утвореннями, адже сформовані тілами різновікових порід докембрію; при цьому відрізняються будовою, ступенем структурно-речовинних перетворень субстрату та динамо-кінематичними умовами становлення. Підзони лінійних тіл субмеридіонального простягання й субвертикального падіння, це Криворізько-Кременчуцька й Оріхово-Павлоградська шовні зони (*I, I'* на рис. 2, відповідно) та суміжні із ними частини мегаблоку. Останні відносимо до більш високорангових сегментів дислокаційної системи, відносно шовних зон, від яких вони відрізняються порівняно меншою інтенсивністю перетворень субстрату. Це західна підзона, (*Ia* на рис. 2), за [1-3] зона синклінальних та моноклінальних структур: Омельницької, П'ятихатської й інших; східна підзона (*Iб* на рис. 2), сформована Камишевахською, Конкською, Білозерською моноклінальними структурами; та осьова підзона мегаблоку (*III* на рис.2), до складу якої входить Запорізьке підняття (за [1-3]), Сурська структура й інші складові. Осьова підзона різниться, від західної та східної підзон дислокаційної системи, просторовим розміщенням геологічних тіл та геолого-динамічними умовами становлення, а саме – трансенсії. В той час, коли західна та східна підзони в сучасному структурному узорі кристалічного фундаменту відповідають таким, що формувалися за динамо-кінематичних умов транспресії (здвигу-стиснення, скупчування).

Підзони субкільцевих тіл (складові дислокаційної системи) сформовані округлими, лінзо- серпоподібними тілами різновікових порід центриклінального, або периклінального падіння. Це західна підзона субкільцевих тіл (*IIa* на рис. 2), сформована Саксаганським, Південним й іншими субкільцевими макротілами (за [1-3] граніто-гнейсові куполи); та східна підзона субкільцевих тіл (*IIб* на рис. 2), до складу якої входить Славгородське субкільцеве макротіло (блок, за [7]) та інші, дрібніші. Підзони субкільцевих тіл, в сучасному структурному узорі кристалічного фундаменту, відповідають сформованим за динамо-кінематичних умов здвигу/розтягу-ротації. Обґрунтування способу формування таких структур надано в роботах Слензака О. І., Паталахи Є. І., менш масштабні структури такого типу описані Семененком М. П., Гончарем А. А., Заїкою-Новацьким Г. В., Гінтовим О. Б.

Геолого-кінематичні характеристики ідентифікованих вище підзон-складових Середньопридніпровської системи не були сталими, адже її формування відбувалося в декілька тектонічних імпульсів. Дія останніх зафіксована у генераціях структур, що нами охарактеризовані. Вік речовини зазначених структур відомий в межах: 3,2; 3,1-2,9; 2,8-2,7; 2,2-2,0; 2,0-1,8 млрд. років [1, 2, 5].

На рис. 2 винесені дані щодо розміщення родовищ та рудопроявів корисних копалин із [15]. Площі скупчень останніх створюють характерні для приздвигових новоутворень форми та займають чіткі структурні позиції в межах Середньопридніпровської дислокаційної системи:

а) лінійно-лінзовидні тіла, що конформні до лінійних складових системи; б) серпоподібні утворення в межах підзон субкільцевих тіл, які є S-структурами підвороту другого порядку; в) поперечні субтіла, що відповідають Т-структурам відриву осьової підзони даної дислокаційної системи. За аналогією щодо форм вже відомих рудовмісних тіл і їх структурного розміщення, нами спрогнозовані нові подібні тіла (заштриховані тіла на рис. 2). Всі форми виділених рудоперспективних макротіл, відомих та прогнозованих, доповнюючи одна одну, підкреслюють й разом з нерудними тілами відтворюють структурний малюнок ранжованої дислокаційної системи з чітко впорядкованою внутрішньою структурою. На мезо- та мікрорівнях рудні й нерудні геологічні тіла також створюють закономірні асоціації, що виражено однаковими їх елементами залягання,

формами, параметрами $a:c$, взаємозалежністю мінерального складу, близькою кількістю різновидів породоутворювальних мінералів, подібними Р-Т умовами формування тощо [1-3, 9].

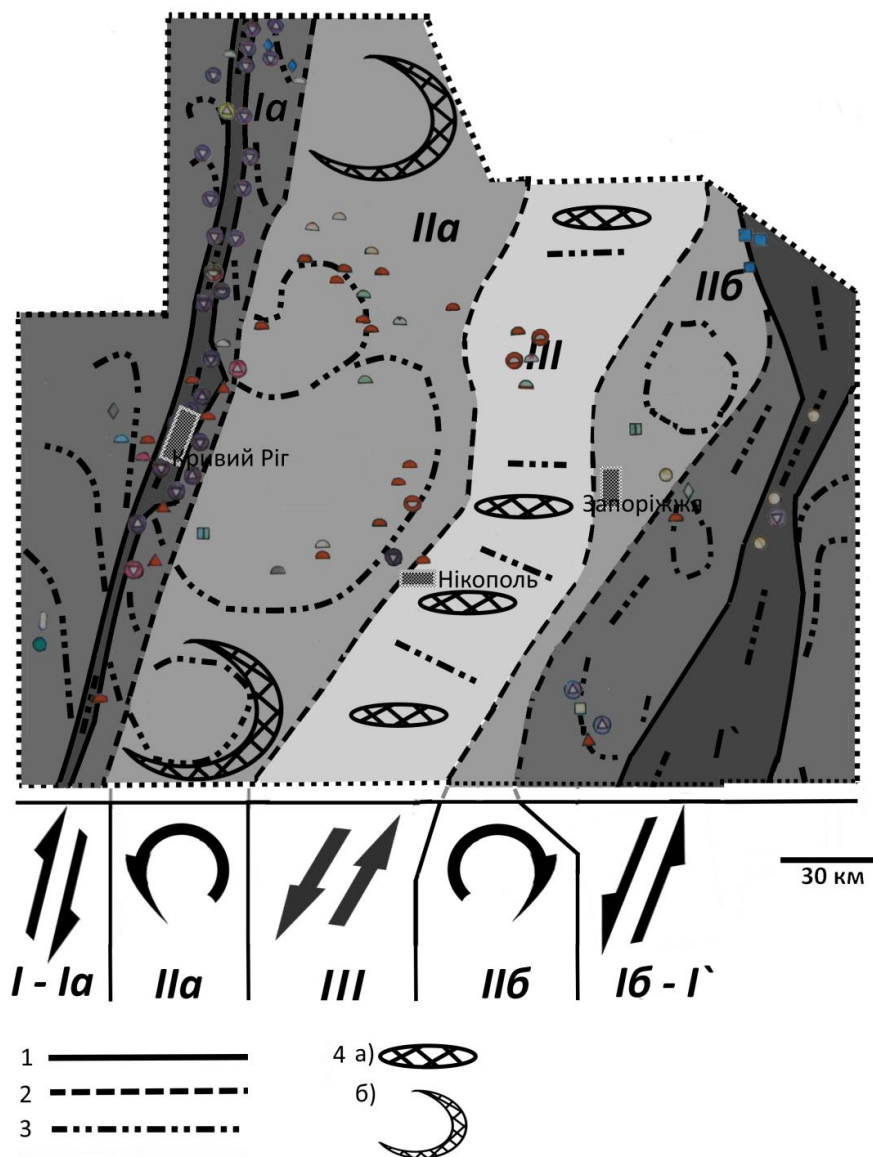


Рис. 2. Середньопридніпровська дислокаційна система здвигу/ротації.

Відтінками відображено відносні ступені структурно-речовинних перетворень субстрату на нижньопротерозойський час: темно-сірі — найбільші, світло-сірі — найменші.

1 — межі епіцентрів лінеаризації; 2 — межі підзон-складових дислокаційної системи; 3 — генералізовані лінії простягання геологічних тіл; 4 — принципові структурні комірки прогнозованих рудоперспективних площ в позиціях: а — Т-структур, б — S-структур.

Внизу — реставровані напрямки зміщення на нижньопротерозойський час. Прямі односторонні стрілки — при дії сил здвигу-стиснення, прямі двосторонні — здвигу/розтягу, округлі — здвигу/прокручування¹. Умовні позначення корисних копалин див. [15].

¹Тут приймається, за [10], що головні нормальні напруги співпадають з кінематичними осями структур: максимального здавлювання σ_c — з віссю c , мінімального σ_a — з віссю a , σ_b — з віссю b . Якщо початкове положення осей a докембрійських структур і мало певний кут до σ_a , то з часом в умовах нижньопротерозойської лінеаризації відбувається їх ротація до стану // σ_a .

Структури генерації-6 на макрорівні представлені в'язкими сингранітаційно-гнейсуватими та кліважними розломами, що розвинуті за площею досить нерівномірно. Вони, переважно, наслідують простягання більш древніх утворень та використовують їх як субстрат. На мезорівні, це: вторинна гранітаційна смугастість (синтектонічного порфіробластезу), структури тектонічного розлізання та будинажу, в'язкий кліваж, що сформований мінеральними асоціаціями епідот-амфіболітової та зеленосланцевої фацій динамометаморфізму. Вони відомі [2, 4, 5] у складі більшості світ, які складають розрізи ЗС. У межах гранітоїдних масивів (зокрема Мокромосковського, Щербаківського) такі зміни досить широко проявлені у вигляді кліважу сформованого агрегатами мусковіту, хлориту, епідоту і карбонату та як вторинна смугастість складу: істотно мікроклінового, альбітитового, грейзенізованого граніту, кварцитового й широкої гамми проміжних відмін [5, 7].

Структури генерації-7 є постметаморфічними. Їм відповідають відносно наймолодші дислокаційні структури, які формувалися в тектонічному режимі щита. Вони представлені зонами крихкого кліважування порід, крихкими та крихко-в'язкими розломами. Такі порушення на досліджуваній частині УЩ розвинені доволі широко. Їм відповідають практично всі зображені на геологічних картах червоними та чорними лініями розломи.

В цілому ж у межах східної частини УЩ, після ранньопротерозойського тектогенезу (~1,7 млрд років тому) виділяється [1-3, 6, 7, 10, 12 та ін.] ще до 5-ти етапів тектонічних перетворень, які в різній мірі охопили і Середньопридніпровську частину щита. Це рифейський, девонський, пермський, палеогеновий та неогеновий етапи. Просторове положення структур зазначених етапів зазвичай визначається регматичною сіткою, але нерідко коригується структурною анізотропією розломів попередніх етапів. Продукти руйнувань цих етапів ми детально не розглядаємо, адже вони широко висвітлені в літературі [1-3, 6, 7, 10, 12 та ін.].

Висновки

Досліджуваний фрагмент УЩ (Середньопридніпровський мегаблок та суміжні шовні зони) є результатом тектоно-метаморфічних трансформацій докембрійського субстрату. Такі трансформації відбувались впродовж усієї докембрійської й фанерозойської історії даної частини УЩ та реалізувались, як мінімум, за сім етапів. Дислокаційні перетворення (для перших шести етапів це орієнтована перекристалізація та перерозподіл речовини, для інших – здебільшого крихке руйнування) відбувались у здвигових умовах при зміні напрямків тектонічних напружень на фоні, переважно, поступового зниження Р-Т значень середовища.

Такі перетворення кожного з етапів провокували поглиблення структурної та речовинної переробки субстрату. Завдяки цьому на ділянках накладення трансформацій сформувались гібридні (складні) макроструктури, які об'єднують у собі мікро- та мезоструктурні парагенезиси усіх етапів еволюції докембрійського субстрату. Гібридні дислокаційні структури макромасштабу, формуючись послідовно у часі й просторі та накладаючись одна на одну, створили структурний рисунок, що відповідає дислокаційній системі здвигу та ротації.

Рудні тіла є закономірною складовою даної системи, отже вони пройшли ту ж історію формування тобто сформовані завдяки тому ж багатоактному тектонічному процесу (здвигу/ротації), що і тіла вмісних. Будова та речовинне наповнення рудовмісних структур є вторинними – сформованими завдяки неодноразовим проявам деформацій здвигу та ротації в Р-Т умовах, за яких можливий перерозподіл речовини. А морфологія та наповнення таких структур до 2,0-1,8 млрд. років тому були іншими і навряд чи підлягають реставрації.

Приуроченість рудних тіл до певних структурних позицій – приздвигових тіней тиску в протерозойському структурному малюнку досліджуваної частини УЩ – вважаємо провідним пошуковим критерієм.

ЛІТЕРАТУРА

1. Геолого-геофизическая модель Криворожско-Кременчугской шовной зоны Украинского щита / Азаров Н.Я., Анциферов А.В., Шеремет Е.М., Глевасский Е.Б., Есипчук К.Е., Кулик С.Н., Бурахович Т.К., Пигулевский П.И. – Киев.: Наукова думка, 2006. – 195 с.
2. Геолого-геоэлектрическая модель Орехово-Павлоградской шовной зоны Украинского щита / Азаров Н.Я., Анциферов А.В., Шеремет Е.М., Глевасский Е.Б., Есипчук К.Е., Кулик С.Н., Сухой В.В., Николаев Ю.И., Николаев И.Ю., Пигулевский П.И. – Киев: Наукова думка, 2005. – 190 с.
3. Каляев Г.И. / Палеотектоника и строение земной коры докембрийской железорудной провинции Украины / Каляев Г.И., Глевасский Е.Б., Димитров Г.Х. – Киев: Наукова думка, 1984. – 239 с.
4. Щербак Н.П. Геохронология и геодинамика архейских мегаблоков Украинского щита / Щербак Н.П., Артеменко Г.В. // Мин.журн., 2014. – Т. 36, № 2. – С. 7-17.
5. Щербак Н.П. Геохронология раннего докембрия Украинского щита (архей) / Щербак Н.П., Артеменко Г.В., Лесная И.М., Пономаренко А.Н. – Киев: Наук.думка, 2005. – 241 с.
6. Семененко М.П. Структура кристаллического массива Среднего Приднепровья / Семененко М.П. – Киев: Изд-во АН УССР, 1949. – 110 с.
7. Орса В.І. Петрологія граніто-гнейсового комплексу Середнього Придніпров'я / Орса В.І. – Київ: Наукова Думка, 1973. – 170 с.
8. Ісаков Л.В. Послідовність формування гранітоїдних комплексів Середньопридніпровської та Західноприазовської мегаструктур Українського щита з позицій плюм-тектоніки / Ісаков Л.В., Паранько І.С., Сукач В.В. // Збірник тез Міжнародної наукової конференції «Геохронологія та геодинаміка раннього докембрію (3,6-1,6 млрд років) Євразійського континенту», 16-17 вересня 2014 р. – Київ: ІГМР, 2014 р. – С. 60-61.
9. Семененко Н.П. Структура Криворожских месторождений богатых руд и закономерности их развития на больших глубинах / Семененко Н.П., Тохтуев Г.В., Кравченко В.М. – К.: Наук.думка, 1981. – 187 с
10. Паталаха Е.И. Новое в геологическом строении Кривбасса с позиций тектонофациального анализа / Паталаха Е.И. // Геохімія та екологія, 2002. – В. 5/6. – С. 245-264.
11. Осьмачко Л.С. Орехово-Павлоградская шовная зона – полициклическая меланжевая структура / Осьмачко Л.С.: Материалы XVI международной конференции «Структура, свойства, динамика и минерагения литосферы Восточно-Европейской платформы», 20-24 сентября 2010 г. — Воронеж, 2010. — Том. 2., С. 117-122.
12. Заїка-Новацький Г.В. Структурна еволюція ранньодокембрійських комплексів Українського щита та проблеми їх геологічного картування / Заїка-Новацький Г.В. // Вісник КНУТШ, Серія Геологія, 2000. — Вип. 18. — С. 19-23.
13. Заїка-Новацький Г. Вулкано-тектонічний комплекс Середнього Наддніпров'я / Заїка-Новацький Г., Осьмачко Л. // Матер. наук.конф. професорсько-викладацького складу геологічного факультету 16-17 травня 2000р. Актуальні проблеми геології України. – Київ, 2000. – С. 16.
14. Толстой М. И. Опыт объективного расчленения докембрийских гранитоидов по комплексу вещественно-физической информации (на примере Среднеприднепровского района Украинского щита) / Толстой М.И., Берзенин Б.З., Гасанов Ю.Л. // Вестник Киевского университета. Прикладная геохимия и петрофизика. – 1984. – № 11. – С. 60-71.
15. Металогенічна карта України. М-б 1:1000 000 / Редактор Д. С. Гурський, автори: В. А. Колосовська, В. А. Веліканов, А. С. Войновський, А. П. Волик, Л. О. Демехін. – Держгеолслужба України, 2002 – 6 л.

REFERENCES

1. *Geologo-geofizicheskaia model Krivorozhko-Kremenchugskoy shovnoi zoni Ukrainskogo shchita* [Geological-geophysic model of Krivorozhko-Kremenchug suture zone of the Ukrainian Shield] / Azarov N., Antsiferov A., Sheremet E., Glevasky E., Esipcyuk K., Kulik S.N., Burahovich T.K., Pigulevsky P.I. — Kiev: Naukova Dumka, 2006. — 195 s. [in Russian]
2. *Geologo-geoelectricheskaia model Orehovo-Pavlogradskoy shovnoi zoni Ukrainskogo shchita* [Geological-geoelectric model of Orehovo-Pavlograd suture zone of the Ukrainian Shield] / Azarov N., Antsiferov A., Sheremet E., Glevasky E., Esipcyuk K., Kulik S.N., Suhoi V.V., Nikolaev Yu.I., Nikolaev I. Yu., Pigulevsky P.I. — Kiev: Naukova Dumka, 2005. — 190 s. [in Russian]
3. *Kaliaev G.I. / Paleotektonika i stroenie zemnoy kory dokembriiskoy zhelezorudnoy provintcii Ukrainy* [Paleotectonic and structure of Earth's crust of the precambrian iron-ore provinces of Ukraine] / Kaliaev G.I., Glevassky E.B., Dimitrov G.H. — Kiev: Naukova Dumka, 1984. — 239 s. [in Russian]
4. *Shcherbak N.P. Geochronologiya i geodinamika arheiskih megablocov Ukrainskogo Shchita* [Geochronology and geodynamics archean megablocks of the Ukrainian Shield] / Shcherbak N.P., Artemenko G.V. // Min.zhurn., 2014. — T. 36, № 2. — S. 7-17. [in Russian]
5. *Shcherbak N.P. Geochronologiya rannego docembriia Ukrainskogo Shchita (Archei)* [Geochronology of the Early Precambrian Ukrainian Shield (Archean)] / Shcherbak N.P., Artemenko G.V., Lesnaya, I.M., Ponomarenko A.N. — Kiev: Nauk.dumka, 2005. — 241 s. [in Russian]
6. *Semenenko M.P. Struktura kristallicheskogo massiva Srednego Pridneprovya* [Structure of crystalline massif of the Middle Pridneprovie] / Semenenko M.P. — Kiev: Izd-vo AN USSR, 1949. — 110 s. [in Russian]
7. *Orsa V.I. Petrologiya granito-gneisovogo kompleksu Serednogo Pridniprovya* [Petrology of granitic-gneiss complex of the Middle Pridniprovie] / Orsa V.I. — Kiev: Naukova Dumka, 1973. — 170 s. [in Ukrainian]
8. *Isakov L.V. Poslidovnist formuvannia granitoidnyh kompleksiv Serendnoprydniprovskoi ta Zahidnopriazovskoi megastruktur Ukrainskogo Shchita z pozytsii plium-tektoniki* [Sequence formed of granitoids complex's of the Midlpydniprovskia and Westazov megastructures of the Ukrainian Shield from the point of view of plium-tectonic] / Isakov L.V., Paranko I.S., Sukach V.V. // Zb. tez Mizhnar. nauk. konf. «Geohronologiya ta geodinamika rannogo dokembriiu (3,6-1,6 mlrd. rokiv) Yevraziiskogo kontinentu (16-17.09.2014)» — Kiev: IGMR, 2014 — S. 60, 61. [in Ukrainian].
9. *Semenenko N.P. Struktura Krivorozhshkih mestorozhdenii bogatih rud i zakonomernosti ih razvitiia na bolshih glubinah* [Structure of Krivorozhshky deposits of the rich ore and their laws development at great depths] / Semenenko N.P., Tohtuev G.V., Kravchenko V.M. — K.: Naukova Dumka, 1981. — 187 s. [in Russian]
10. *Patalakha E.I. Novoe v geologicheskoy stroenii Krivbassa s pozichii tektonofacialnogo analiza* [New in geological construction of Krivbassa from the point of view of tektonofacies analysis] / Patalakha E.I. // Geokhimiia ta ekologiya, 2002. — V. 5/6. — S. 245-264. [in Russian]
11. *Osmachko L.S. Orehovo-Pavlogradskaia shovnaia zona — policiklicheskaia melanzhevaia struktura* [Orehovo-Pavlograd suture zone — polycyclic mélange structure] / Osmachko L.S. // Materiali XVI mezhdunarodnoi konferentsii «Struktura, svoistva, dinamika i minerageniia litosferi Vostochno-Evropeiskoi platformi», 20-24 sentiabria 2010 g. Voronezh, 2010. — Tom 2, S. 117-122. [in Russian]
12. *Zaika-Novatsky G.V. Strukturna evoliutsiia ranniodokembriiskih kompleksiv Ukrainskogo shchita ta problemi ih geologichnogo kartuvannia* [Structural evolution of Early Precambrian complexes of the Ukrainian Shield and problems its geological mapping] / Zaika-Novatsky G.V. // Visnik KNUTSh, Seriya Geologiya, 2000. — V. 18. — S. 19-23. [in Ukrainian]

13. Zaika-Novatsky G. Vulkano-tectonichnyi kompleks Serednogo Naddniprovia [Volcano-tectonic complex of Middle Naddniprovia] / Zaika-Novatsky G., Osmachko L. // Mater.nauk. konf. profesorsko-vikladatskogo skladu geologichnogo fakultetu 16-17 travnia 2000 r. Aktualni problemy geologii Ukraini. – Kiev, 2000. – S. 16. [in Ukrainian]
14. Tolstoi M.I. Opit obyektivnogo raschleneniia dokembriiskih granitoidov po kompleksu veshchestvenno-fizicheskoi informachii (na primere Srednepridneprovskogo rayona Ukrainskogo shchita) [Objective experience dismemberment of Precambrian granitoids for complexes material-physics information (at example Middle Pridnipro region of the Ukrainian Shield)] / Tolstoi M.I., Berzenin B.Z., Gasanov Yu.L. // Vestnik Kievskogo universiteta. Prikladnaya geohimii i petrofizika. – 1984. – № 11. – S. 60-71. [in Russian]
15. Metalogenichna karta Ukraini. Masshtab 1000000. [Metalogenic map of Ukraine. Scale 1:1000 000] / Editor D.S. Gursky, authorus: V.A. Kolosovska, V.A. Velikanov, A.S. Voinovsky. – State geological Survey of Ukraine. 2002. [in Ukrainian]

ЭТАПЫ ФОРМИРОВАНИЯ СРЕДНЕПРИДНЕПРОВСКОЙ ЧАСТИ УКРАИНСКОГО ЩИТА И ИХ РОЛЬ В СТРУКТУРНОМ КОНТРОЛЕ РУДОПЕРСПЕКТИВНЫХ УЧАСТКОВ

Осьмачко Л. С. к. г. н., с. н. с., ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины», osml@ukr.net.

В работе обобщены данные, авторские и предшественников, геолого-структурных исследований в пределах отдельных участков Среднеприднепровского мегаблока, также сопредельных шовных зон Украинского щита. Обосновано, что Среднеприднепровская часть Украинского щита является гибридной, существенно сдвиговой дислокационной системой. Она формировалась, как минимум, в семь этапов дислокационных преобразований кристаллического основания. Становление структур первых шести этапов происходило в условиях постепенного уменьшения Р-Т параметров геологической среды (от гранулитовой до зеленосланцевой фации метаморфизма). Более поздние структуры представлены постметаморфическими тектонитами усугубляющими уже сложившийся структурный план. Дислокационная система ранжирована — сформирована составляющими, отличающимися друг от друга геолого-динамическими условиями становления. Это подзоны линейных и субкольцевых тел. Среди первых, в современном структурном рисунке кристаллического основания, выделяются соответствующие сформировавшимся в условиях трансенсии и транспрессии. Подзоны субкольцевых тел идентифицированы как сформировавшиеся в геолого-динамических условиях сдвига/ротации. Все составляющие дислокационной системы, в свою очередь, структурно зональны и сформированы более высокоранговыми подобными геологическими телами. Рудоперспективные геологические тела занимают позиции структур относительного растяжения (Т) и подворота (S) в ранжированном тектоническом рисунке, становление которого привязываем к раннему протерозою. Отмеченное считаем руководящим поисковым критерием.

Ключевые слова: генерации структур, дислокационная система, рудные тела, структурные ячейки

THE STAGES OF FORMATION OF SREDNEPRIDNEPROVSKYA PART OF THE UKRAINIAN SHIELD AND THEIR ROLE IN STRUCTURAL CONTROL OF THE ORE - PERSPECTIVES PLOTS

L. Os'machko. Ph.D. (Geology), Senior Researcher, SI «Institute of environmental geochemistry of NAS of Ukraine» osml@ukr.net

The paper summarizes data, copyright and predecessors, geological and structural studies within individual sections of Srednepridneprovsky megablock, also adjacent suture zones of the Ukrainian Shield. It is justified that Srednepridneprovskya part of the Ukrainian Shield is essentially a hybrid dislocation shear system. It was formed at least in seven stages of dislocation changes of the crystal base. The formation of the structures of the first six stages occurred in a gradual decrease in PT parameters geological environment (from granulite to greenschist facies). Younger structures are represented postmetamorphic tectonites aggravating already established structural plan. Dislocation system is ranked – formed by components, different from each other geological and dynamic conditions of formation. Those are subzones of lineated and subcirculated bodies. Among the first, in the present structural plan of crystalline basement, relevant subzones formed under transtension and transpression are allocated. The subcircled bodies of subzones are identified as being formed in the geological and dynamic shift / rotation conditions. All components of the dislocation system, in turn, are structural zoned and formed by the high-ranking similar geological bodies. Promising ore geological bodies occupy position of structures of the relative stretch (T) and subrotation (S) in the ranked tectonic figure, which formation we attribute to the early Proterozoic. Marked above facts we believe are leading search criteria.

Keywords: generation of structures, dislocation system, ore bodies, structural cell

УДК 553.078

ПРИРОДА УГЛЕРОДА РАННЕДОКЕМБРИЙСКИХ ГРАФИТОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УКРАИНСКОГО ЩИТА

Ярошук М. А., Мусич Е. Г.

Ярошук М. А. д. г.-м. н., в. н. с. ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины» marina_yaroshchuk@meta.ua
Мусич Е. Г. канд. биол. наук, ст. н. с. ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины» Nad79eva@bygmir.net.

Обоснована роль abiогенного углерода в образовании графита, связанная с интенсивным взаимодействием мантийных восстановленных углеродсодержащих флюидов с породами коры и метаморфизмом графитсодержащих пород в глубинных условиях гранулитовой фации. Основные летучие компоненты магматических и метаморфических процессов – вода и углекислота выделяются из глубоких недр, проникая в земную кору в виде готовых химических соединений, продуктов химических реакций между водородом, углеводородами и кислородом, постоянно протекающих в земной коре в процессе ее развития и становления. Вода и углекислота, как основные компоненты смеси газов, выделялись из больших глубин Земли на поверхность и сохранились до нашего времени благодаря своей малой летучести, а источником их (CO_2 , CO , CH_4) является реакция взаимодействия рассеянного в породах мантии углерода (графита) с водой. Образование графитовых руд месторождений Украинского Щита, приуроченных к контактам высоко глиноземистых гнейсов и карбонатных пород, можно объяснить взаимодействием CO_2 , выделившегося при скарнировании кальцифиров, и восстановленных глубинных флюидов, поступающих в тектонизированные зоны контактов этих пород. Высокотемпературный метаморфизм обусловил перекристаллизацию тонкодисперсного углеродистого вещества в полнокристаллический графит. Эти данные могут быть использованы в качестве поискового критерия для открытия графитовых месторождений.

Ключевые слова: графит, abiогенный углерод, углесодержащие флюиды, метаморфизм графитовмещающих пород.

Введение

Графит является важным стратегическим сырьём ядерной энергетики Украины, что определяет актуальность его изучения с целью расширения его сырьевой базы. Это, в свою очередь, зависит от генетических представлений об исходной (экзогенной, эндогенной?) природе углерода графита, поскольку эти представления определяют факторы его концентрации (магматический, седиментогенный, метаморфический, тектонический) в графитовых месторождениях.

В пределах Украинского щита выделяются три области развития графитовой минерализации: Северо-Западная, Центральная и Приазовская, в которых графитоносное оруденение сосредоточено в 19 локальных рудных районах [1]. Генетически различаются месторождения магматического контактово-реакционного и метаморфического типов; для первых двух типов рассматриваются глубинные источники углерода; для месторождений метаморфогенных высказаны спорные представления, в частности, допускается образование графита за счет биогенного углерода.

На УЩ основная масса графита сосредоточена именно в месторождениях, отнесённых к метаморфогенному типу [2].

С точки зрения региональных структурных признаков метаморфогенные месторождения, рудопроявления графита УЩ и графитсодержащие гнейсы приурочены к межблоковым шовным зонам (МШЗ): Белоцерковско-Одесской (Завальевское месторождение, Дубиновское, Зареченское, Демовьяровское рудопроявления), Ингулецко-

Криворожской (Петровское месторождение), Орехово-Павлоградской, Центрально-Приазовской (Старокрымское месторождение).

Межблоковые шовные зоны ограничены глубинными разломами, характеризуются особым геодинамическим режимом развития: наличием коро-мантийной смеси; сложным строением уровня эрозионного среза, в частности, присутствием выступов палеоархейского фундамента, разделённых неоархейскими метаморфическими толщами. Накопление неоархейских пород МШЗ происходило ранее 3 млрд. лет, их прогрессивный метаморфизм осуществлялся в период ~ 2,8 млрд. лет.

Характерными особенностями неоархейских осадочно-вулканогенных толщ МШЗ (бугской, центрально-приазовской, нижних горизонтов ингуло-ингулецкой серий), в том числе графитовых месторождений, является субсогласное переслаивание таких пород: кальцифиров, высокоглиноземистых гнейсов, метабазитов, коматиитов, метаультрабазитов, железисто-кремнистых пород, флюидизитов.

Особенностью залегания графитосодержащих гнейсов является их приуроченность к границам палеоархейских выступов, обычно ограниченных глубинными разломами.

Для метаморфогенных месторождений графита характерна приуроченность рудных залежей к тектонизированным контактам глинозёмистых гнейсов с кальцифирами либо метаультрабазитами (Завальевское, Петровское, Демовьяровское) [3].

До сих пор нет единой точки зрения о генезисе образования графитового месторождения, что затрудняет его поисковые критерии. Неоднозначностью генетических представлений допускается различная роль экзогенных и эндогенных факторов в графитообразовании.

По этим вопросам высказаны две основные точки зрения:

- о биогенной природе углеродистого вещества, образованного в результате процессов фотосинтеза с последующей его кристаллизацией в процессе метаморфизма в форме графита;
- об абиогенной природе углерода, обусловленной сложной эволюцией глубинного флюида, содержавшего различные соединения углерода (CO , CO_2 , углеводороды), в условиях гранулитовой фракции преобразованных в графит.

Цель данной работы – обосновать доминирующую роль глубинного абиогенного углерода как поискового критерия графитового месторождения.

Биогенная природа углерода графита.

Точка зрения о биогенной природе углерода графита метаморфогенных месторождений докембрийских щитов опирается на обнаружение в рудовмещающих породах этих месторождений форменных остатков живых организмов (спор, бактерий, водорослей). Остатки бактерий, якобы, обнаружены в глубоко метаморфизованных породах с возрастом >3,5 млрд. лет формации Исуа в Гренландии [4]; углеродистое вещество установлено в кристаллосланцах серии кейв Балтийского щита Кольского полуострова [5]. Наличие форменных остатков биоса достоверно установлено в метаморфических породах УЩ, возраст которых менее 2 млрд. лет [6]. В доказательство биогенной природы углерода графита раннедокембрийских метаморфических пород приводятся данные об относительно «лёгком» изотопном составе, отвечающем изотопному составу биогенного углерода, диапазон значений γ^{13} которого составляет – 97 – 20‰. Однако, в графитах магматогенных жильных месторождений диапазон значений изотопного углерода графита составляет $\gamma^{13}\text{C} = -3,2 \dots -39\%$ [7], в частности для графита из пегматоидных жил Корсунь-Новомиргородского плутона $\gamma^{13}\text{C} = -25 \dots -28\%$ [8]. Данные указывают на перекрытие изотопных значений углерода метаморфических и магматических пород. Причиной сложного и неоднозначного изотопного фракционирования углерода в метаморфических породах может быть сочетание нескольких факторов: кинетический (лёгкий изотоп реагирует быстрее, чем тяжёлый); электромагнитные свойства железисто-кремнистых пород

и железных руд; радиоактивность торий-урановых концентраций. В. Г. Яценко [1], который проводил детальное изучение изотопного состава углерода метаморфических месторождений графита УЩ, пришёл к заключению, что определение источника углерода графита по его изотопному составу представляется спорным. Проблематичным является возможность накопления биогенного углерода раннедокембрийских месторождений в связи с решением вопроса о необходимых массах биоса, тем более с учетом потери $\sim >50\%$ этой массы при процессах высокотемпературного метаморфизма. На Завальевском месторождении резервные запасы графита составляют ~ 6418 тыс. т при содержании графита в рудах 3-7%. Для образования таких запасов необходимо было бы огромное количество биогенной (сапропелевой) массы [7].

Соскладчатое положение графитовых руд в толще неоархейских метаморфических пород, якобы свидетельствующее в пользу их седиментогенной биогенной природы, может быть обусловлено тектоническими процессами, наличием проницаемых зон для глубинных флюидов в контактах пород, некогрессивных по физико-механическим и химическим свойствам.

Предполагая, что изотопный состав углерода угля и графита из осадочных пород раннего и среднего докембрия близок к изотопному составу растений нашей эпохи, углерод имел биогенную природу, тогда жизнь существовала на Земле в период отложения самых древних осадочных пород, известных науке. Однако, сходство изотопного состава говорит лишь о сходной степени фракционированности изотопов, т. е. о принципиальном сходстве процессов образования анализируемых веществ. Известно, что в фотосинтезе, происходившем в условиях бескислородной атмосферы, кинетика играла не меньшую роль, чем в фотосинтезе органическом, протекающем в современных условиях. А сходство соотношения стабильных изотопов углерода в современных зеленых растениях и в биогенных отложениях с изотопным составом углерода древнейших осадочных пород еще не доказывает, что эти породы образовались биогенным путем.

Категорические возражения по вопросу биогенной природы графита высказаны Р. Я Белевцевым [9], детально проанализировавшем геохимические процессы при формировании земной коры, гидросферы и биосферы.

Сомнения по поводу биогенной природы углерода графита раннедокембрийских пород также высказаны многими исследователями [10-12], которые за основной источник углерода принимают восходящие восстановленные мантийные флюиды, содержащие углеводороды. В. Е. Закруткин [4] приводит данные о прямой зависимости концентрации углеродистого вещества от абсолютного возраста докембрийских пород: в архее – 4,4%; раннем протерозое – 3,4%; позднем протерозое – 1,3%. Эти данные отвечают представлениям о более интенсивной вулканической (магматической) деятельности в архее, по сравнению с протерозоем, с которой был связан поток глубинных восстановленных флюидов, послуживших источником абиогенного углерода графита.

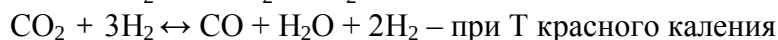
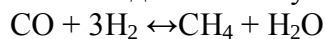
Абиогенная природа углерода графита.

Представления об абиогенной природе углерода метаморфогенных месторождений графита обосновываются целым рядом возможных углерод-углеводородной глубинной флюидизации окислительно-восстановительных реакций. П. Ф. Иванкин [13] считает, что сущность газового (флюидного) режима планеты заключается в том, что основные летучие компоненты магматических и метаморфических процессов (вода и углекислота) выделяются из глубоких недр, проникая в земную кору в виде готовых химических соединений, продуктов химических реакций между водородом, углеводородами и кислородом, постоянно протекающих в земной коре в процессе ее развития и становления. Следовательно, флюиды имеют вторичную природу. Поскольку вода и углекислота, как основные компоненты смеси газов, выделялись из больших глубин Земли на поверхность и сохранились до нашего

времени благодаря своей малой летучести, а источником их (CO_2 , CO , CH_4) является реакция взаимодействия рассеянного в породах мантии углерода (графита) с водой.

Считают, что формирование раннедокембрийских пород гранулитовой фации на глубинах 10-15 км происходило с участием глубинных восстановленных флюидов, которые в коре выветривания подвергались неполному окислению с выделением свободного углерода.

Окислителями могли служить CO_2 и H_2O , которые выделялись при взаимодействии восстановленных газов с такими раннедокембрийскими кислородоемкими породами, как железисто-кремнистые [12]. Образование CO_2 и H_2O могло быть обусловлено целым рядом реакций взаимодействия глубинных газов между собой при $T > 900^\circ\text{C}$ [14].



Неполным окислением, например, метана ($\text{CH}_4 + \text{CO}_2 = 2\text{C}_{\text{св.}} + 2\text{H}_2\text{O}$) в условиях низкого потенциала кислорода можно объяснить установление на глубинах > 25 км наличие так называемого слоя Гутенберга, повышенная электропроводность которого, возможно, обусловлена присутствием дисперсного углеродистого вещества [15-16].

Основываясь на приведенных представлениях, образование графитовых руд Завальевского и Петровского месторождений, приуроченных к контактам высокоглиноземистых гнейсов и карбонатных пород, можно объяснить взаимодействием CO_2 , выделившегося при скарировании кальцифиров, и восстановленных глубинных флюидов, поступавших в тектонизированные зоны контактов этих пород. Высокотемпературный метаморфизм обусловил перекристаллизацию тонкодисперсного углеродистого вещества в полнокристаллический графит.

Структурные особенности атома углерода.

Причина раздвоения свойств углерода обусловлена структурными особенностями атома. Известно, что атом углерода отличается от атома кислорода отсутствием 4-х внешних диполей и представляет собой весьма компактное образование плоской структуры, симметричное относительно 2-х осей (рис.1, 2) [17]. Биогенные атомы углерода с участием 3-х атомов кислорода образуют угольную кислоту. Диссоциированный ион CO_3^{2-} имеет соответствующую биогенному атому углерода плоскую структуру, с углом расположения 120° друг к другу трёх атомов кислорода вокруг атома углерода. Он образует ионную связь с двумя атомами водорода с отрывом у них двух электронов (энергия отрыва каждого 13,6 эВ, или 1312 кДж/моль). При этом ионный радиус составляет всего 0,02 нм благодаря компактности структуры биогенного атома углерода. Именно на основе угольной кислоты зелёными растениями осуществляется на свету фотосинтез углеводов: моно- и полисахаридов с помощью белкового катализатора – хлорофилла.

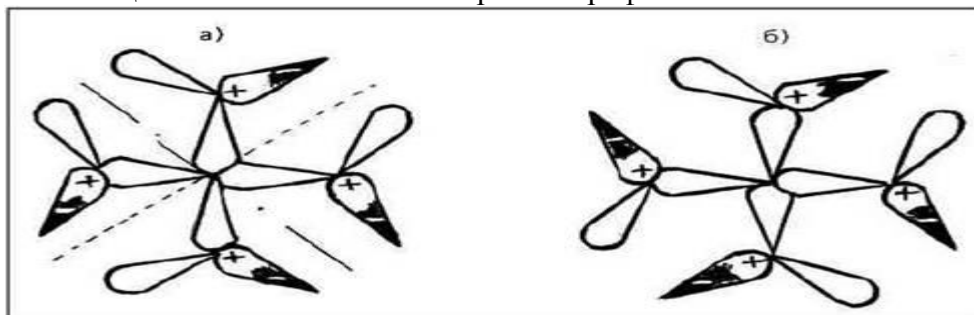


Рис 1. Биогенный атом углерода с асимметричным (а) и симметричным (б) расположением валентных электронов

В синтезе углеводов растениями принимает участие асимметрический атом биогенного углерода, свидетельствуя о явлении оптической изомерии: в биологическом мире сахаров встречаются только правовращающие (D) формы. В биологических тканях спиралевидные и крученые структуры обязаны своим образованием исключительно водородным связям между звеньями углеводов и белков. Напротив, абиогенный атом одинаково активен во всех 4-х пространственных направлениях и обладает пространственно равновероятной возможностью полимеризации и неограниченного механического усложнения молекул.

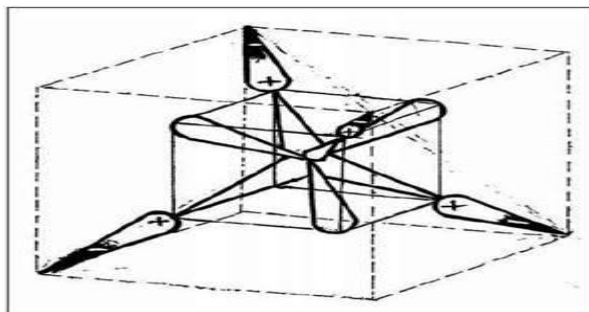


Рис. 2. Абиогенный атом углерода с тетраэдрическим расположением валентных электронов

Именно структурные и энергетические особенности атомов абиогенного углерода, непрочность межатомных (и внутриатомных) связей определяют особенности поведения его в условиях давления осадочных толщ и их проявления.

В процессе движения карбида в земной коре при уплотнении вышележащими слоями осадочных пород возникают неупорядоченные химические связи между атомами разных цепей. Более того, линейные крученые цепочки, в том числе $C=C-C$ и $C-C\equiv C$ могут разрываться, они слабые и к их концам присоединяются атомы других элементов. Это водород, кислород, а также атомы N, S, Si, Al, Na, K, металлов 4-го ряда – титана, иными словами, кубическая форма абиогенного углерода легко деформируется под давлением и подвергается сдвиговым деформациям.

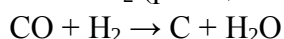
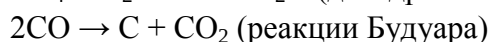
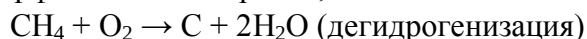
Поведение свободного углерода в докембрийских породах.

Генезис свободного C в докембрийских породах связан с дегазацией и преобразованием газов на глубинах 10-15 км в зонах разломов, либо в гидросфере при их неполном окислении (мало CO_2 и H_2O) и быстром захоронении. Часто графитовые породы ассоциируются с карбонатными и находятся в зонах разломов, в которых присутствуют электромагнитные поля. В таком случае активными катализаторами графитизации являются соединения железа и возможны такие реакции:

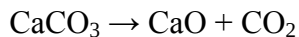
$3FeCO_3 = Fe_3O_4 + 2CO_2 + CO$ – подтверждена экспериментально при термоэлектрической обработке сидерита [16].

$2CO = CO_2 + \underline{C}$ – происходит выделение графита, гематита, магнетита, кальцита.

В пользу глубинного источника углерода графита указывают его геохимические особенности, в частности, присутствие таких глубинных элементов как Ni, Cr, Co, PЗЭ, Th; при этом их более высокие содержания отмечены в более древних и сильнее метаморфизованных породах, чем в более молодых.



При скарнировании происходит выделение CO_2 по реакциям:



в восстановительных условиях при $T > 600^\circ\text{C}$ возможна реакция $\text{CO}_2 + 2\text{H}_2 \rightarrow \text{C} + 2\text{H}_2\text{O}$.

Возможным источником кислорода в коре на больших глубинах могли быть все кислородсодержащие минералы, в частности, железо- и магнийсодержащие силикаты ($4\text{Mg, Fe}\text{SiO}_3 \rightarrow \text{Mg} + \text{Fe} + (\text{SiO}_2)^{2-} + (\text{SiO}_4)^{4-} + 2\text{SiO}_2 + \text{O}_2^{2-}$ [12].

Приведенные факты указывают на значительную роль именно глубинного абиогенного углерода в образовании палеодокембрийских графитовых месторождений УЩ.

Выводы

Участие глубинного абиогенного углерода в формировании раннедокембрийских проявлений графита обосновывается такими положениями:

- приуроченность месторождений и рудопроявлений графита к МШЗ, ограниченных глубинными субмеридиональными разломами. Внутреннее строение МШЗ на уровне эрозионного среза представлено тектоническим меланжем, образованным породами двух структурных ярусов, фрагменты которых разделены разломами. МШЗ являются региональными структурами, интенсивного взаимодействия мантийных восстановленных углеродсодержащих флюидов с породами коры;
- переслаивание графитсодержащих метаморфических пород с метавулканитами основного (базиты) и ультраосновного (коматиты) состава, а наличие силловых тел пироксенитов и перидотитов, жил серендибитсодержащих лампрофиров, т.е. пород глубинного происхождения;
- метаморфизм графитсодержащих пород в глубинных условиях гранулитовой фации, наличие в них газовой-жидких включений мантийных газов – CH_4 , C_2H_6 , CO и даже твердых включений графита.

Такие поисковые критерии установлены в наиболее изученном Побужском районе Белоцерковско-Одесской шовной зоны и должны быть использованы при поисках графита в менее изученных Орехово-Павлоградской, Ингулецко-Криворожской и Центрально-Приазовской межблоковых шовных зонах. Эти мегаструктуры УЩ наиболее перспективны с точки зрения расширения сырьевой базы графита, необходимого для дальнейшего развития атомной энергетики Украины.

ЛИТЕРАТУРА

1. Яценко В.Г. Структурно-морфологические и генетические типы графита на примере месторождений Украинского Щита. Авт.диссерт. на соискание уч.степени канд.геол.наук. 1996. Киев, 24 с.
2. Ярошук М.А., Вайло А.В. Роль процессов гранитизации в образовании торий-уранового оруденения межблоковых шовных зон Украинского Щита. Зб. наук. праць, 2014, в. 23, стор. 179-185.
3. Орса В.И. Гранитообразование в докембрии Среднеприднепровской гранит-зеленокаменной области. – Киев: Наук.думка, 1988. -204 с.
4. Закруткин В.Е. Высокоуглеродистые формации раннего докембрия европейской части СССР.//Авт.докт.диссерт., 1982. Москва, 34 с.
5. Сидоренко С.А., Сидоренко А.В. Органическое вещество в осадочно-метаморфических породах докембрия.// М.: Наука, 1975, 113 с.

6. *Снежко А.М., Ярощук М.А., Вайло А.В.* Роль углеродистого вещества в формировании золоторудных проявлений Побужского района Украинского Щита. // Минерал. ж-л, 1994, т. 16, № ¾, с. 48-52.
7. *Зорькин Л.М., Суббота М.И., Стадник Е.В.* Метан в нашей жизни.// М. Недра, 1986, 151 с.
8. *Коваль В.Б., Валасис А.Г.* Источники рудогенных элементов в Корсунь-Новомиргородском Плутоне.// Геол. Ж., 1988, № 6. С. 65-71.
9. *Белевцев Р.Я.* Происхождение и эволюция внешних геосфер: газовой атмосферы, кислого океана, свободного атмосферного кислорода и возникновение жизни.//Доповіді НАНУ 2011, № 12, с. 83-90.
10. *Федоскин М.А.* Две летописи жизни: опыт сопоставления (палеобиология и геоналика о ранних этапах эволюции биосферы. Сб. «Проблемы геологии и минералогии», 2006, Сыктывкар, с.331-350.
11. *Лукин А.Е., Загитко В.Н., Лысенко О.Б.* Биоподобные структуры в углеродистых образованиях и проблема происхождения жизни. //Геол.журнал, 2001, № 3, с.7-23.
12. *Чебаненко І.І.* Про місце нафтових вуглеводнів у загальному еволюційному ряду вуглецеводневих сполук у Космосі та на Землі: ґносеологічне дослідження.//Геол. журн. 2001, № 2, с. 10-12.
13. *Иванкин П.Ф., Назарова Н.И.* Глубинная флюидизация Земной коры и ее роль в петрогенезе, соле- и нефтеобразовании. 2001, Москва, ЦНИГРИ, 206 с.
14. *Вернадский В.И.* Вибрані наукові праці. 2012, НАНУ, т.7, кн. 1, нарис 5 «Вуглець та жива речовина у Земній корі», с. 427-527.
15. *Гордиенко В.В.* Украинский щит (геофизика, глубинные процессы) : Моногр. / В. В. Гордиенко, И. В. Гордиенко, О. В. Завгородняя, С. Ковачикова, И. М. Логвинов; НАН Украины. Ин-т геофизики им. С.И.Субботина. - К., 2005. - 210 с. - Библиогр.: с. 200-210.
16. *Старостенко В.И.* Геотектоника, глубинное строение и рудные месторождения Кировоградского рудного района Украинского щита по геофизическим данным / В. И. Старостенко, О. Б. Гинтов // Мінералогічний журнал. - 2014. - Т. 36, № 2. - С. 27-47.
17. *Ходьков А.Е., Виноградова М.Г.* Дипольная гипотеза и её следствия //К познанию сущности физико-химических процессов. Черкаassy, ОНИИТЭХИМ, 1989. Деп. № 824 хп-89. С.93.

REFERENCES

1. *V. Yacenko.* Strukturno-morfologicheskie i geneticheskie tipi grafita na primere mestorozhdeniy Ukrainskogo schita. [Structural and morphological and genetic types of graphite deposits on the example of Ukrainian Shield.] Avt.dissert. na soiskanie uch.stepeni kand.geol.nauk. 1996. Kiev, 24 s [in Russian].
2. *M. Yaroschuk, A. Vaylo.* Rol' processov granitizacii v obrazovanii toriy-uranovogo orudneniya mezhblokovich shovnih zon Ukrainskogo schita. [Role granitisation processes in the formation of thorium- uranium mineralization interblock suture zones of the Ukrainian Shield.]Zb. nauk. prac', 2014, v. 23, s. 179-185 [in Russian].
3. *V. Orsa.* Granitoobrazovanie v dokembrii Srednepidneprovskoy granit-zelenokamennoy oblasti. [Granite Srednepidneprovsky in the Precambrian granite-greenstone region.] - Kiev: Nauk.dumka, 1988. - 204 s [in Russian].
4. *V. Zakrutkin.* Visokouglerodistie formacii rannego dokembriya evropeyskoy chasti SSSR.[High-carbon formations of the Early Precambrian of the European part of the SSSR .]//Avt.dokt.dissert., 1982. Moskva, 34 s [in Russian].

5. S. Sidorenko, A. Sidorenko. Organicheskoe veschestvo v osadochno-metamorficheskikh porodah dokembriya.[The organic matter in sedimentary- metamorphic rocks of Precambrian.]// M.: Nauka, 1975, 113 s [in Russian].
6. A. Snezhko, M. Yaroschuk, A. Vaylo. Rol' uglerodistogo veschestva v formirovanii zolotorudnih proyavleniy Pobuzhskogo rayona Ukrainskogo schita.[The role of the carbonaceous material in the formation of gold ore manifestations Pobuzhsky district Ukrainian Shield.] // Mineral. zh-l, 1994, t. 16, № ¾, s. 48-52 [in Russian].
7. L. Zor'kin, M. Subbota, E. Stadnik. Metan v nashey zhizni.[Methane in our lives]// M. Nedra, 1986, 151 s [in Russian].
8. V. Koval', A Valasis. Istochniki rudogennih elementov v Korsun'-Novomirgorodskom Plutone. [Sources rudogennyh elements in Korsun- Novomirgorod Pluto.]// Geol. ZH., 1988, № 6. S. 65-71. [in Russian]
9. R. Belevtcev. Proishozhdenie i evolyuciya vneshnih geosfer: gazovodnoy atmosferi, kislogo okeana, svobodnogo atmosfernogo kisloroda i vzniknovenie zhizni.[Origin and evolution of external Geospheres : gazovodnoy atmosphere, acidic ocean, free of atmospheric oxygen and the origin of life]//Dopovidi NANU 2011, № 12, s. 83-90. [in Russian]
10. M. Fedoskin. Dve letopisi zhizni: opit sopostavleniya (paleobiologiya i geonalika o rannih etapah evolyucii biosferi. [Two chronicles life experience matching (Paleobiology and geonalika the early stages of the evolution of the biosphere.) Sb. «Problemi geologii i mineralogii», 2006, Siktivkar, s.331-350. [in Russian]
11. A. Lukin, V. Zagnitko, O. Lisenko. Biopodobnie strukturi v uglerodistih obrazovaniyah i problema proishozhdeniya zhizni. [Biosimilar structure in carbonaceous formations and the problem of the origin of life.]//Geol.zhurnal, 2001, № 3, s.7-23. [in Russian]
12. I. Chebanenko, Pro misce naftovih vuglevodniv u zagal'nomu evolyuciynomu ryadu vuglecevovodnevih spoluk u Kosmosi ta na Zemli: gnoseologichne doslidzhennya.[On the place of petroleum hydrocarbons in general evolutionary series vuhletsevovodnevnyh compounds in space and on Earth: epistemological study.]//Geol. zhurn. 2001, № 2, s. 10-12. [in Ukrainian]
13. P. Ivankin, N. Nazarova. Glubinnaya flyuidizaciya Zemnoy kori i ee rol' v petrogeneze, sole- i nefteobrazovanii. [Deep fluidization of the Earth's crust and its role in petrogenesis , salt and oil generation.]2001, Moskva, CNIGRI, 206 s. [in Russian]
14. V. Vernadskiy. Vibrani naukovy praci.[Selected research papers.] 2012, NANU, t.7, kn. 1, naris 5 «Vuglec' ta zhiva rechovina u Zemniy kori», s. 427-527. [in Ukrainian]
15. V. Gordienko Ukrainskiy schit (geofizika, glubinnie processi) [Ukrainian Shield (geophysics, deep processes)]: Monogr. / V. Gordienko, I. Gordienko, O. Zavgorodnyaya, S. Kovachikova, I. Logvinov; NAN Ukraini. In-t geofiziki im. S.I.Subbotina. - K., 2005. - 210 c. - Bibliogr.: s. 200-210. [in Russian]
16. V. Starostenko. Geotektonika, glubinnoe stroenie i rudnie mestorozhdeniya Kirovogradskogo rudnogo rayona Ukrainskogo schita po geofizicheskim dannim [Geotectonics , deep structure and ore deposits of the Kirovograd ore district of the Ukrainian shield according to geophysical data] / V. Starostenko, O. Gintov // Mineralogichniy zhurnal. - 2014. - T. 36, № 2. - S. 27-47. [in Russian]
17. A. Hod'kov, M. Vinogradova. Dipol'naya gipoteza i ee sledstviya [Dipole hypothesis and its consequences]//K poznaniyu suschnosti fiziko-himicheskikh processov. Cherkassi, ONIITEHIM, 1989. Dep. № 824 hp-89. S.93. [in Russian]

ПРИРОДА ВУГЛЕЦЮ РАННЬОДОКЕМБРІЙСЬКИХ ГРАФІТОВИХ РОДОВИЩ УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА.

Ярошук М.О., Мусич О.Г.

М. О. Ярошук д. г.-м.н., пр. н.с. ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України» marina_yaroshchuk@meta.ua
О. Г. Мусич канд. біол. наук, ст. н. с. ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України» Nad79eva@bygmir.net.

Обґрунтована роль абіогенного вуглецю в утворенні графіту, при інтенсивній взаємодії мантійних відновлених вуглецевовмісних флюїдів з породами кори і метаморфізмом графітовмісних порід в глибинних умовах гранулітової фації. Основні летючі компоненти магматичних і метаморфічних процесів - вода і вуглекислота виділяються з глибоких надр, проникаючи в земну кору у вигляді готових хімічних сполук, продуктів хімічних реакцій між воднем, вуглеводнями і киснем, постійно протікають в земній корі в процесі її розвитку і становлення. Вода і вуглекислота, як основні компоненти суміші газів, виділялися з великих глибин Землі на поверхню і збереглися до нашого часу завдяки своїй малій летючості, а джерелом їх (CO_2 , CO , CH_4) є реакція взаємодії розсіяного в породах мантії вуглецю (графіту) з водою. Утворення графітових руд родовищ Українського Щита, приурочених до контактів високо глиноземистих гнейсів і карбонатних порід, можна пояснити взаємодією CO_2 , що виділявся при скарнірованні кальцифірів, і відновлених глибинних флюїдів, що надходили в тектонізовані зони контактів цих порід. Високотемпературний метаморфізм зумовив перекристалізацію тонкодисперсної вуглецевої речовини в повнокристалічний графіт. Ці дані можуть бути використані в якості пошукового критерію для відкриття графітових родовищ.

Ключові слова: графіт, абіогенний вуглець, вуглецевовмісні флюїди, метаморфізм графітовмісних порід.

NATURE OF CARBON OF EARLY DOCAMBREY GRAPHITE DEPOSITS OF THE UKRAINIAN SHIELD

M. Yaroshchuk., O. Musych

M. Yaroshchuk, Dr.Sc. (Geol.- Min), leading researcher SI «Institute of Environmental Geochemistry of the NAS of Ukraine» marina_yaroshchuk@meta.ua
O. Musych Ph.D. (Biology), senior researcher, SI «Institute of Environmental Geochemistry of the NAS of Ukraine» Nad79eva@bygmir.net.

The role of abiotic carbon in graphite formation, related to the intense interaction of reduced mantle carbonaceous fluids and the rocks crust and metamorphism of graphite rocks in deep conditions of granulite facies, is substantiated. The main volatile components of magmatic and metamorphic processes - water and carbon dioxide, are separated from the deep interior, penetrating into the earth's crust in the form of ready-made chemical compounds, products of chemical reactions between hydrogen, hydrocarbons and oxygen, are constantly taking place in the earth's crust in the process of its development and formation. Water and carbon dioxide as the main components of a mixture of gases released from the great depths of the Earth to the surface and have survived to our time, thanks to its low volatility, and their source (CO_2 , CO , CH_4) is the reaction of ambient carbon (graphite) in mantle rocks with water. The formation of graphite ore deposits of the Ukrainian Shield dedicated to contacts between highly aluminous gneisses and carbonate rocks, can be explained by the interaction of CO_2 liberated during calciphyres skarn formation and reduced deep fluids coming in tectonized area of these rocks contacts. High-temperature metamorphism caused recrystallization of fine carbonaceous matter in holocrystalline graphite. These data can be used as a search criterion for opening of the graphite deposits.

Keywords: graphite, biogenic and abiogenic carbon, carbon's fluids, metamorphism of graphite's rocks.

УДК 551.242:553.04

ПРО СТРУКТУРНУ ПОЗИЦІЮ РУДНИХ ПОКЛАДІВ ІНГУЛЬСЬКОГО МЕГАБЛОКУ УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА

Осьмачко Л. С., Студзінська А. О., Уварова Т. В.

Осьмачко Л. С. канд. геол. н., ст. н. с., ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», osml@ukr.net

Студзінська А. О. м. н. с., ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НУ України», anna.studz88@ukr.net

Уварова Т. В. н. с., Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, uvarov@ukr.net

З'ясовано, що структурний узор центральної частини Українського щита, який формувався в декілька етапів суттєво здвигових трансформацій кристалічної основи, відповідає дислокаційній системі здвигу-ротації, становлення якої відбулося в палеопротерозої. Обґрунтовано, що Новоукраїнський масив гранітоїдів, як закономірна складова зазначеної системи, також формувався в декілька етапів структурно-речовинних перетворень докембрійського фундаменту. Адже, даний масив, сформовано геологічними тілами декількох більш високих рангів та генерацій. На кожному з рівнів (від макро-, до мікрорівня організації об'єкту) ці тіла відтворюють приздвигові структурні малюнки. Рудні об'єкти всіх рівнів організації є закономірними складовими цих малюнків, тобто вони пройшли ту ж історію формування, що і вмисні. Тому рудоперспективні тіла займають певні структурні комірки в палеопротерозойському структурному малюнку – приздвигові тіні тиску. Таку приуроченість вважаємо за провідний пошуковий критерій.

Ключові слова: дислокаційна система, масив гранітоїдів, генерації структур, рудні тіла, структурні позиції, здвиг.

Вступ

Питання щодо умов формування та закономірностей розміщення рудоперспективних структур Інгільського мегаблоку Українського щита (УЩ) досить широко дискутуються у зв'язку з неоднозначним трактуванням специфіки тектонічних явищ [1-10] у процесі становлення кристалічної основи цієї частини УЩ. А саме, причин і механізмів деформаційних перетворень кристалічного фундаменту, кількості їх етапів, кінематики, РТ-умов тощо. З метою уточнення геолого-структурних закономірностей розміщення рудних об'єктів та прогнозу їх локалізації в структурному узорі центральної частини УЩ нами були проведені детальні дослідження в межах її окремих ділянок. Завданням даної роботи було виявлення й систематизація особливостей будови Апрельської U-Th-перспективної структури північної частини Новоукраїнського масиву гранітоїдів, які могли б сприяти виявленню зазначених закономірностей. Актуальність роботи обумовлена необхідністю вдосконалення мінерально-сировинної бази України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. За [1 та ін.] в геологічній історії УЩ виділяються два крупних періоди, які відрізняються тектонічними режимами: геосинклінальний в археї – ранньому протерозої; платформний, що розпочався з пізнього протерозою. Під час другого з періодів, в межах теперішнього Інгільського мегаблоку, формуються автохтонні масиви сублужних гранітоїдів. Становлення їх багатостадійне, відбувалося як: магматичне інфільтраційне заміщення; відщеплення й ін'єкція остаточних магматичних продуктів; постмагматичні гідротермальні явища, дислокаційний метаморфізм. Як результат зазначених подій, формується єдиний еволюційний ряд порід, що утворюється в послідовності: сублужні граніти, сієніти, альбітити [1]. На постмагматичній стадії становлення даних масивів, з появою тріщин та падінням тиску, в краєві та апікальні

частини масивів проникають остаточні розчини підвищеної лужності. Вони збагачувались ураном з вмістних гранітоїдів. Дроблення та привідкриття тріщин в зонах відбувалося неодноразово [1].

За [10], складчаста структура УЩ взагалі та Інгульського мегаблоку зокрема сформована структурами «сдвига, качення, скручивання» (СКС), що формувалися переважно в полі лівосторонніх здвигових деформацій. Структури СКС мають здебільшого північно-західне простягання. У лінійних частинах таких структур переважають умови здвигу-стиснення; тут переважно формуються такі метаморфічні утворення, як гнейси, сланці тощо. В дугових, або ядерних частинах структур СКС домінують умови здвигу-розтягування; тут формуються здебільшого породи гранітоїдного складу. До утворень, що сформовані в таких умовах віднесені [10] породи Корсунь-Новомиргородського та Новоукраїнського масивів. Всі різновиди порід як в лінійних, так і дугових частинах структур СКС формувалися внаслідок тектонічних деформацій за рахунок єдиного субстрату шляхом його геохімічного твердофазного переміщення у вигляді силікатної плазми [10]. Зокрема, урановорудні поклади (як і інші рудні), за [10], є результатом найбільш повно проявлених процесів тектоно-метаморфічної диференціації в дугових частинах структур СКС.

За [7], формуванню рудного району в центральній частині Інгульського мегаблоку передували, спочатку накопичення потужної товщі осадово-вулканогенних порід інгуло-інгулецької серії, а потім – субширотний розсуд Західної та Східної мікроплит УЩ, початок утворення в осовій частині розсуду субмеридіональної глибинної розривної зони Херсон-Смоленськ, по якій відбувався дренаж мантийних горизонтів. Одним з важливих процесів, що впливав на формування Кіровоградського рудного району (КРР) і перерозподіл елементів в мантиї і корі, є гранітизація – поява прошарку часткового плавлення, яка обумовила метасоматичне та метаморфічне перетворення порід [7]. З першим етапом цього процесу, зокрема, пов'язано становлення Новоукраїнського масиву трахітоїдних і кіровоградських палінгенних гранітів, відділення хлоридно-калієвого водно-силікатного флюїду, який поступово змінюється на карбонатно-фторидно-натровий, що призводить до метасоматичних перетворень в корі [7]. Другий етап – активізація розсудного процесу, що супроводжувалося підняттям основних розплавів габро-монцонітової формації, анортозитів і гранітів Корсунь-Новомиргородського плутону [7]. Після формування Новоукраїнського масиву та Корсунь-Новомиргородського плутону зона розсуду Херсон-Смоленськ цементується. Роль структур, що пов'язують мантию з корою і поверхнею, залишається за Кіровоградською, Звенигородсько-Братською, Субботсько-Мошоринською, Лелековською і, можливо, деякими іншими зонами розломів [7]. Особливо інтенсивна метасоматична та гідротермальна діяльність спостерігається у вузлах перетину субмеридіональних і субширотних зон. Зв'язок магматичних і метасоматичних утворень з глибинними зонами розломів свідчить про мантийну природу флюїдів, за участі яких вони утворені [7].

Виклад матеріалу досліджень

Нами раніш встановлено, що центральна частина УЩ (Інгульський мегаблок та суміжні шовні зони) є результатом тектоно-метаморфічних трансформацій докембрійського субстрату [11, 12]. Такі трансформації відбувались впродовж усієї докембрійської й фанерозойської історії досліджуваної частини УЩ та реалізувались, як мінімум, за десять етапів. Дислокаційні перетворення (для перших шести етапів, це орієнтована перекристалізація та перерозподіл речовини, для інших – переважно крихке руйнування) відбувались у здвигових умовах при зміні напрямків тектонічних напружень на фоні, переважно, поступового зниження Р-Т значень середовища. Такі перетворення кожного з етапів прововували поглиблення структурної та речовинної переробки субстрату. Завдяки цьому на ділянках накладення трансформацій сформувались гібридні (складні) макроструктури, які об'єднують у собі мікро- та мезоструктурні парагенезиси усіх етапів

еволюції докембрійського субстрату. При цьому первинні структурно-речовинні парагенезиси, не рідко, є повністю знищеними з формуванням нових форм залягання із зовсім новим речовинним складом – вторинних дислокаційних структур. Останнє спостерігається на всіх рівнях організації геологічного середовища (від рівня макроструктур до рівня породоутворюючих і акцесорних мінералів). Гібридні дислокаційні структури макромасштабу, формуючись послідовно у часі й просторі та накладаючись одна на одну, створили структурний рисунок, що відповідає дислокаційній системі здвигу та ротації.

Лінійні складові (підзони) даної дислокаційної системи (Інгурської): ГШЗ (Голованівська шовна зона), ККШЗ (Криворізько-Кременчуцька шовна зона), Братська і Приінгурська зони (за [2, 3, 13-16]) – субмеридіонального простягання й субвертикального падіння, сформовані еліпсоподібними, лінійно-подовженими тілами різновікових порід. Дані складові дислокаційної системи, в сучасному структурному узорі кристалічного фундаменту, відповідають сформованим за динамо-кінематичних умов транспресії (здвигу-стиснення, скучування). Відзначені лінійні складові дислокаційної системи, між собою різняться інтенсивністю перетворень субстрату. Наприклад, Братська зона відносно ГШЗ є менш трансформованою.

Підзони (складові дислокаційної системи) субкільцевих тіл: Кіровоградська та Західно-Інгурська (за [15 та ін.]) сформовані округлими, лінзо- серпоподібними тілами різновікових порід центриклінального падіння (Корсунь-Новомиргородський плутон й Новоукраїнський масив, Куколовський, Кременчуцький масиви (за [3 та ін.]) та інші дрібніші куполи й вали Західно-Інгурської зони). Ці підзони, в сучасному структурному узорі кристалічного фундаменту, відповідають сформованим за динамо-кінематичних умов здвигу-ротації.

В цілому становлення суттєво здвигової дислокаційної системи – Інгурської (Інгурський мегаблок та суміжні шовні зони) відбувалося в декілька тектонічних імпульсів, які зафіксовано в генераціях структур, за Р-Т умов динамо-метаморфічних перетворень речовини геологічних тіл, що її формують. З огляду на останнє, скоріш за все, зазначені імпульси фіксовано і в цифрах ізотопного віку: > 3,2; 3,1-2,9; 2,8-2,7; 2,2-2,0; 2,0-1,8 млрд. років [1-3, 5, 14-18]. Від імпульсу до імпульсу динамо-кінематичний статус інтерпретованих нами складових системи (лінійних та субкільцевих) змінювався [4-7, 11]. Відміна та зміна кінематики можуть бути обумовленими різними факторами: первинною неоднорідністю субстрату, швидкістю деформацій, часом прикладення сил, інтенсивністю процесу, хвилеподібним розповсюдженням тектонічних явищ тощо.

Остаточне оформлення досліджуваного фрагменту УЩ ми прив'язуємо до часу 2,0-1,8 млрд років тому, адже структурний малюнок (каркас) Інгурської дислокаційної системи окреслений (сформований) геологічними тілами палеопротерозойського віку. Більш пізні тектонічні порушення не змінили сформованого на відзначену часову мітку структурного плану, а лише підсилили його структурну та речовинну зональність.

Опираючись на факти зібрані нами та досягнення попередників, ми інтерпретуємо становлення рудовмісних структур центральної частини УЩ, зокрема і північного фрагменту Новоукраїнського масиву, як таке, що відбувалося синхронно з вміщувачими їх геологічними тілами (складовими Інгурської дислокаційної системи), тобто також здійснювалося у декілька етапів дислокаційних (структурних та речовинних) перетворень докембрійської основи. Провідними механізмами були орієнтована перекристалізація та перерозподіл речовини у здвигових умовах. Зазначене підтверджують нові факти зібрані нами та дані попередників, які викладені нижче у пунктах 1 — 6. Вони систематизовані у відповідності до принципу ієрархічності геологічних структур, розпочинаючи з макрорівня структурно-речовинної організації об'єктів досліджень, закінчуючи мікрорівнем.

1. Масиви гранітоїдів осьової частини Інгурського мегаблоку (Корсунь-

Новомиргородський, Новоукраїнський) формують мегабудинаж структуру, зафіксувавши на час становлення умови відносного розтягання [6-8, 11]. Масиви гранітоїдів Західно-Інгuleцької зони серпоподібних форм формують ланцюжок тіл субмеридіонального простягання, відтворюючи малюнок структур розвальцювання, відносно ККШЗ.

Коротко означена макробудова центральної частини УЩ свідчить, що цей фрагмент кристалічного фундаменту є впорядкованою макроструктурою розлінування та будинажу, формування якої можливе за неодноразових деформацій здвигу докембрійського фундаменту у супроводі розосередження та прокручування окремих його складових

2. Новоукраїнський масив є лійкоподібним (перевернутий конус, сидлоподібний) горизонтально розшарованим тілом, яке сформоване з кільце-, S-подібних тіл більш високого рангу [7, 9, 19]. Останні добре виражені в геофізичних полях та, в свою чергу, в плані, складені декількома ланцюжками будино-, лінзоподібних тіл строкатого складу, субкільцевих конфігурацій, що мають круте до субвертикального падіння [1, 7-9]. Цими субкільцевими ланцюжками (третього порядку в даному випадку) є рудовмісні структури – Апрельське та інші подібні.

3. Геологічні тіла мезорівня (на рівні пачок порід) як нерудні так і Th-, U-вмісні, що формують вище означені ланцюжки, пласто- лінзоподібних форм, згідно перемежуються між собою, мають чіткі межі та однакові елементи залягання. Співвідношення довгої осі до короткої (*a:c*) таких тіл-складових сягає 7. Зокрема, це тіла: гнейсів, гранітоїдів, альбітитів рудних, альбітитів безрудних та інших [1, 9].

S-подібні неоднорідності внутрішньої частини Новоукраїнського масиву відповідають внутрішньобудинним складкам волочіння, формування яких відбувається за тотального залучення фундаменту до неодноразових деформацій здвигу-розтягу й прокручування окремих його складових на даному рівні організації геологічного середовища. Тобто, це вторинна стратифікація (структурна та речовинна перебудова), лінеаризація граніто-метаморфічного середовища, яка зумовлена зазначеними тектонічними факторами й виражена як перешарування дуже сплюснених, витягнутих та зміщених усіх без винятку за складом геологічних тіл.

4. Внутрішня будова геологічних тіл мезорівня (гранітоїдів та альбітитів Новоукраїнського масиву) неоднорідна, представлена смугастістю, декількома генераціями сланцюватостей, кліважем тощо. Всі генерації таких мікроструктур проявлені в усіх відзначених різновидах порід, але для кожного з них та чи інша їх генерація розвинута й виражена в різній мірі (з різною інтенсивністю) (рис. 1, 2). Генерації сланцюватостей відрізняються одна від одної різною просторовою орієнтацією, інтенсивністю прояву, мінеральним складом, розмірністю зерен, ступінню їх подовженості, також наповненістю й параметрами рудних мінералів. На перетинах сланцюватостей мають місце мінерали та їх агрегати σ -, s- подібних форм. Мінеральні зерна, що формують сланцюватість, розліновані, будиновані та мають неоднорідну, зональну будову, яку ми інтерпретуємо як результат перекристалізації й заміщення. Найбільш інтенсивно, як в гранітоїдах так і альбітитах, проявлена сланцюватість генерації-1, яка є згідною S-тілам мезо-макрорівня та разом з ними формує структурний план Апрельського рудопрояву: субширотне простягання геологічних тіл з крутим падінням на південь.

Розміщення і форма виділень рудних мінералів підпорядковані структурному малюнку даного рівня організації об'єкту. А саме вони містяться, у геолого-кінематичному відношенні, в тінях тиску – міжбудинному просторі, торцевих частинах породоутворювальних мінералів

та на межах по різному сформованих зон (зон нарощування) мінералів; також виповнюють шпарини.

Смугастість і сланцюватість є виразом процесів здвигу-розтягу/ротації на мікрорівні. Тут вони реалізуються завдяки синдеформаційній (компенсаційній) перекристалізації (дифузійний перерозподіл речовини) в напрямку відносно понижених деформаційних тисків [4, 5, 10]. Однакова кількість генерацій сланцюватостей та їх тотожні просторові міграції для всіх досліджуваних тіл (гранітоїдів та альбітитів рудних й безрудних) свідчать, що всі вони пройшли однакову структурно-метаморфогенну еволюцію. А саме, формувалися імпульсно, в декілька етапів структурно-речовинних перетворень при зміні напрямків тектонічних напруг. Скоріш за все, кожен із тектонічних імпульсів у всіх зазначених різновидах порід проявлявся одночасно.

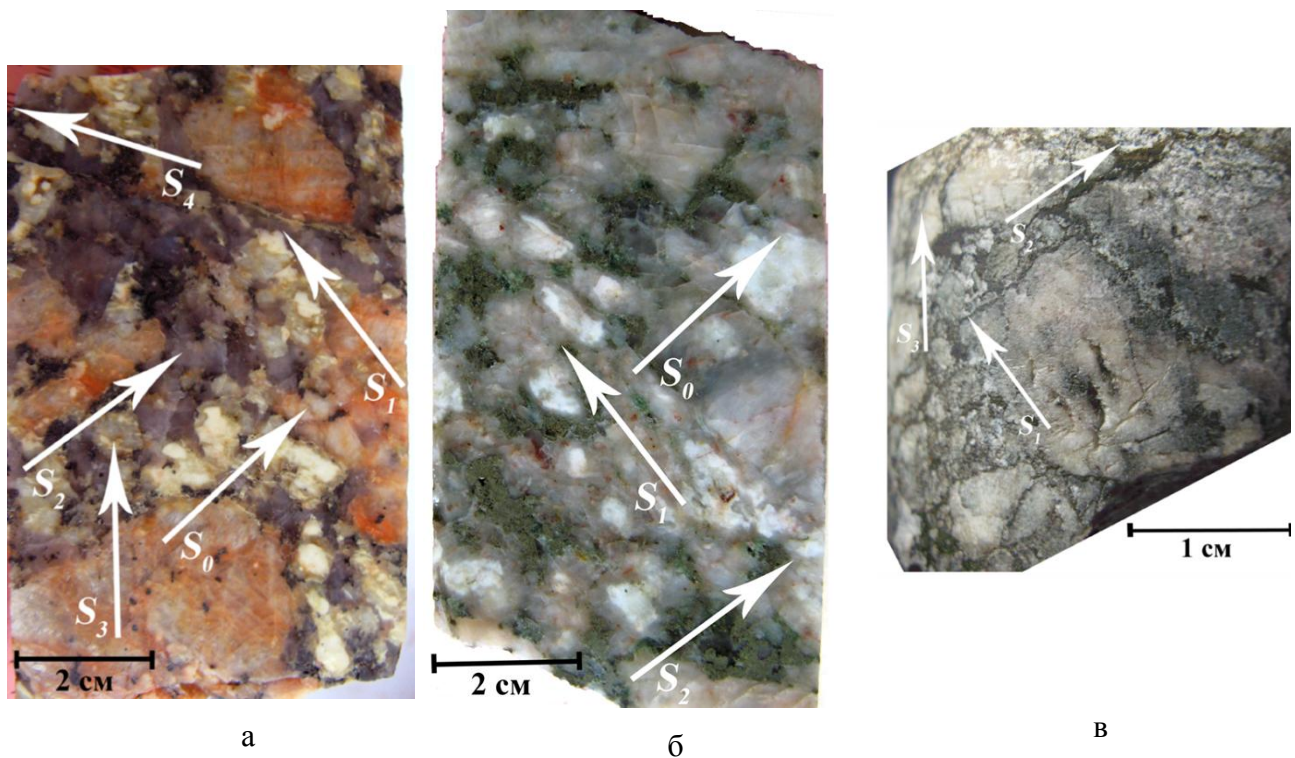


Рис. 1. Декілька генерацій сланцюватості (S_{1-4}) в: а) гранітоїдах (св. (свердловина) 39, гл. 50 м.); б) альбітитах безрудних (св. 28, гл. 147 м.); в) альбітитах рудних (св. 28, гл. 214 м.) Апрельського родовища. Стрілочки – напрямки сланцюватостей. Зразки люб'язно надані співробітниками КП „Кіровгеологія” № 46.

5. Для геологічних тіл Новоукраїнського масиву відомо декілька цифр віку – 2037,4 (габромонзоніти), 2036,7 (гранат-біотитові трахітоїдні граніти), 2034,8 (жильні сублужні граніти) [18], 1900-2000 [20], 2030-2000 млн років [17, 20]. Вік уранового зруденіння та альбітитоутворення 2000, 1800 млн років [1, 18, 21]. Зазначені породи містять декілька генерацій породоутворювальних й акцесорних мінералів. Також і для геологічних тіл інших макроструктур, досліджуваної дислокаційної системи, відомі подібні цифри ізотопного віку [2, 3, 16, 17, 20].

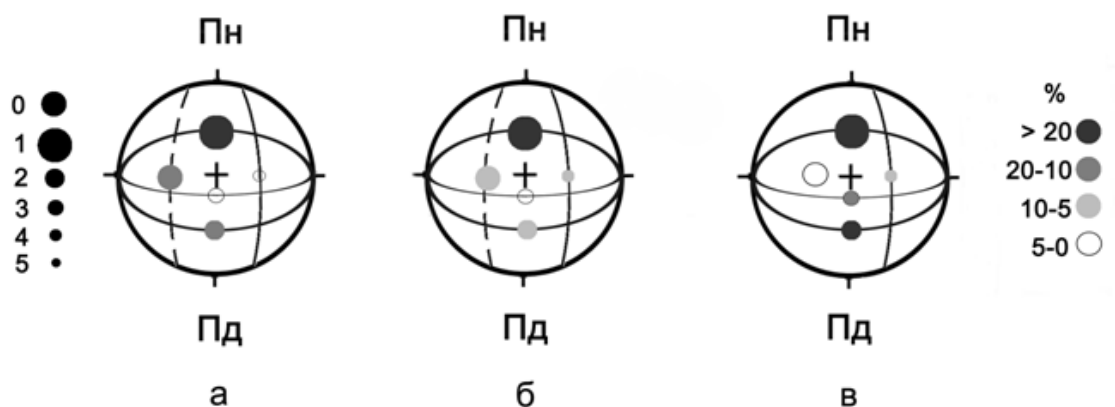


Рис. 2. Узагальнені проєкції на верхню півсферу площинних (напівкола) та лінійних елементів (кружки) для геологічних тіл Апрельського рудопрояву складу: а) гранітів, б) альбітитів безрудних; в) альбітитів рудних. Ліворуч – шкала генерацій структур; праворуч – шкала інтенсивності прояву.

6. Формування гранітоїдів Новоукраїнського масиву відбувалося в інтервалі 700-500°C при тискові 600 МПа [20]. Формування альбітитів, зокрема Новоконстантинівської зони – 420-120°C [21]; при цьому виявлена температурна стадійність при формуванні мінералів: альбіт – 240-120°C, кальцит – 300-120°C, уранових мінералів – 240-120°C. Джерелом урану слугували породи граніто-гнейсової формації центральної частини УЩ [21].

Кількість генерацій породотворювальних й акцесорних мінералів та їх неоднорідна будова, декілька цифр віку та значень Р-Т засвідчують декількоетапність, імпульсність формування досліджуваного об'єкта. Адже певний різновид породотворювального і акцесорного мінералу є кінцевим продуктом відповідного мінералоутворювального процесу – результатом особливостей хімізму, симетрії геологічного об'єму, насиченості компонентами росту, РТ-умов геологічного середовища, тощо на момент його формування. Так як гранітоїди Інгульської частини УЩ мають ознаки синтектонічних утворень (див. вище) сформованих за високих Р-Т значень та є закономірною складовою структурного малюнку території, то кожен із вікових і мінеральних різновидів цих порід є результатом прояву одного із тектонічних імпульсів.

Таким чином, геологічні тіла-складові центральної частини УЩ, від макро- до мікрорівня, високовпорядковані, одностепенні, самоподібні на всіх рівнях організації, сформовані різко диференційованою речовиною. Зазначене засвідчує про сумісне й взаємозалежне формування і розвиток речовини та її морфологічного вияву (структур). Така досконала будова й всепроникна кореляція описаних вище атрибутів досліджуваного об'єкта вказують на наявність під час його формування тектонічного керівного параметра, за [4, 5, 10].

Пошукові перспективи Інгульської дислокаційної системи

Із приведених вище даних, слідує, що рудні геологічні тіла (відомі й прогнозовані), як закономірні складові (такі що структурно й речовинно еволюціонували синхронно з нерудними тілами) Інгульської дислокаційної суттєво здвигової системи мають займати в ній певні, в геолого-кінематичному відношенні, комірки. А саме, це складові частини системи, де на час її становлення панували умови відносно понижених деформаційних тисків – тіні тиску. Отже, на рис. 3 нами окреслені одинарною штриховкою вже відомі рудні поля, перехресною – прогнозовані.

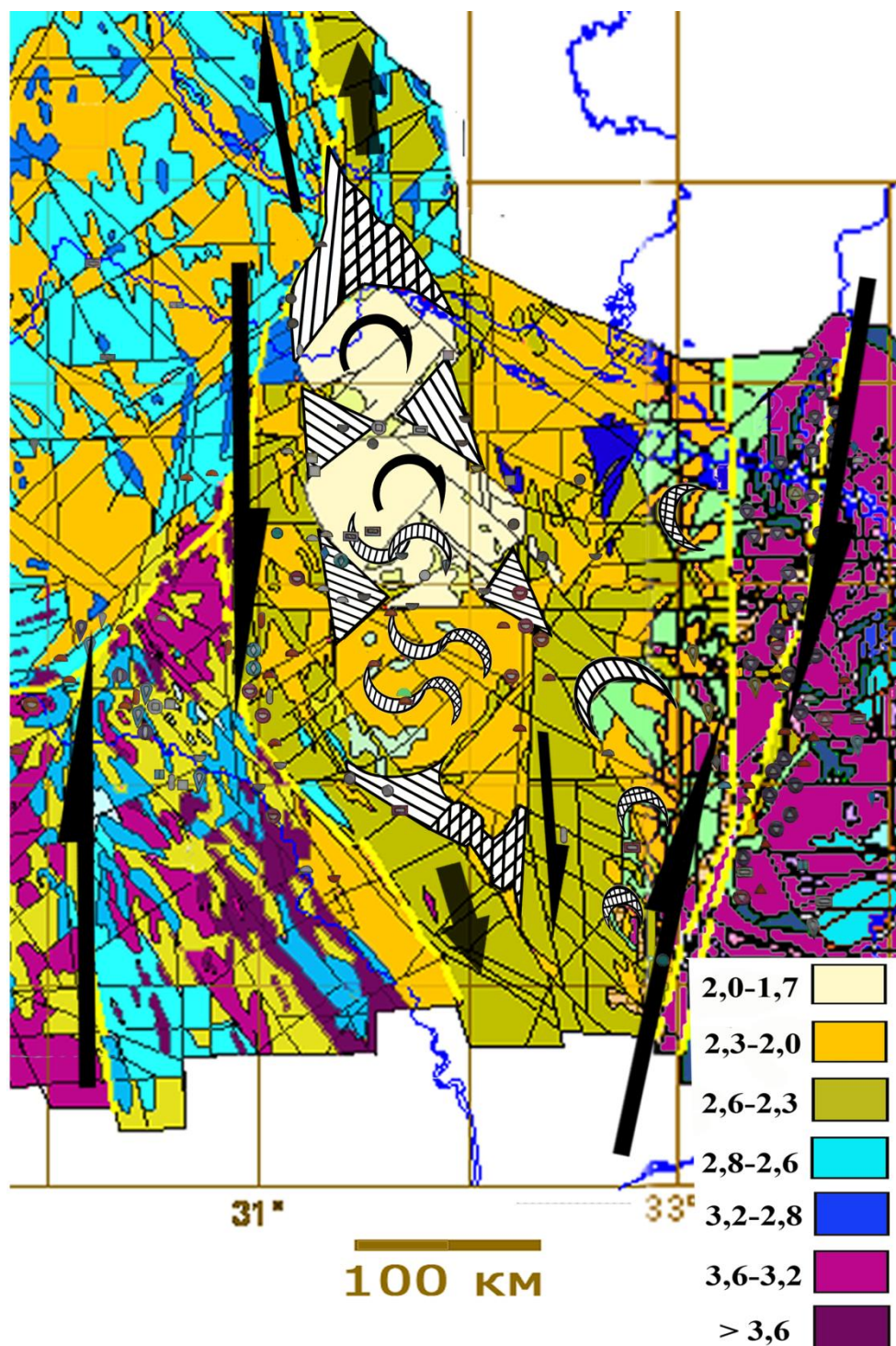


Рис. 3. Структурно-вікова карта рудоперспективних структур макrorівня Інгульської дислокаційної системи – відомих (одинарна штриховка) та прогнозованих (перехресна штриховка).

На основі карти [15] та доповненнями авторів і залученням даних [7, 14, 22]. Прямі односторонні стрілки – видимі напрямки зміщення (в сучасних координатах) при дії сил здвигу-стиснення, прямі двосторонні — здвигу-розтягу, округлі – здвигу/прокручування на час становлення (палеопротерозой) докембрійського структурного малюнку. Внизу праворуч – вікова шкала в млрд. років.

Окреслені площі, доповнюючи одна одну, створюють характерні для приздвигових новоутворень форми та займають чіткі структурні позиції в межах Інгульської дислокаційної системи: а) міжбудинний простір, де будинач-тілами є дві субкільцеві складові Корсунь-

Новомиргородського плутону, Новоукраїнський масив та Бобринецько-Кіровоградський; **б)** приторцеві частини відзначених будин; **в)** S-подібні субтіла внутрішніх частин зазначених мегабудин, які окреслені за геофізичними полями та мофологією й просторовим розміщенням тіл-складових масивів; **г)** серпоподібні тіла Західно-Інгулецької підзони.

Всі виділені форми рудоперспективних тіл, за [4, 5, 10, 23], формуються завдяки перерозподілу породоутворювальних й рудних елементів в умовах нерівномірного розподілу деформаційних тисків при здвигових трансформаціях. Зокрема, рудоперспективні площі (тіла) групи **а)** створюються шляхом заповнення простору при розтягу/роз'єднанні тіл, що супроводжує деформації здвигу; тіла групи **б)** виникають на ділянках захищених від деформацій здвигу/стиснення; тіла групи **в)** є внутрішньобудинними складками волочіння, за [23], за [10] – структурами вихоровидного скручування товщ лійкоподібних форм, які утворюються між здвиговими площинами (на більш детальних картах, дані структури ∞ - подібних форм, як свідчення неодноразових змін здвигових напрямків); тіла групи **г)** відповідають приздвиговим «завертышам».

Висновки.

Структурний ансамбль, до якого входять Інгульський мегаблок УЩ та суміжні шовні зони – Голованівська і Криворізько-Кременчуцька інтерпретовано як суттєво здвигову дислокаційну систему – Інгульську. Вона формувалася в декілька етапів дислокаційних перетворень кристалічного фундаменту, остаточно оформилася на палеопротерозойський час, адже в сучасному структурному малюнку УЩ виражена геологічними тілами палеопротерозойського віку.

Новоукраїнський й інші масиви, як складові Інгульської дислокаційної системи, є гібридними, ієрархічними, високовпорядкованими дислокаційними структурами, які формувалися в декілька тектонічних імпульсів, шляхом структурних й речовинних перетворень первинного субстрату.

Рудні мінерали, агрегати та тіла беруть участь у формуванні структурного малюнку на відповідних рівнях організації, тобто і вони (рудні) пройшли ту ж історію формування – сформовані завдяки тому ж багатоактному тектонічному процесу (здвигу/ротації), що і породоутворювальні мінерали, агрегати та тіла вмістних. Тому рудні тіла займають закономірні структурні позиції в протерозойському структурному малюнку досліджуваної частини УЩ – приздвигові тіні тиску. Зазначене вважаємо провідним пошуковим критерієм.

Генезис рудних покладів, в межах досліджуваних об'єктів, відповідає змішаному типу: тектоно-метаморфічному та регенованому. Тобто рудна речовина вилучалась з порід кристалічної основи, перетворювалась (разом з нерудними компонентами), переміщувалась, та набувала нових речовинних і просторових форм, пристосовуючись до відповідних Р-Т й кінематичних умов, провокованих тектонічними імпульсами, яких відомо не менше десяти. Перші п'ять (для Новоукраїнського масиву гранітоїдів) з них реалізувались у в'язко-пластичних умовах (до 1,8 млрд. років тому), інші в пружно-крихких.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Белевцев Я.Н.* Генетические типы и закономерности размещения урановых месторождений Украины / Я.Н. Белевцев, В.В. Коваль, А.Х. Бакаржиев, В.А. Анисимов, В.Г. Баташов. – Киев: Наук. думка, 1995. – 396 с.
2. *Геолого-геофизическая модель Голованевской шовной зоны Украинского щита* / Анциферов А.В., Шеремет Е.М., Глевасский Е.Б., Есипчук К.Е. – Донецк: Изд-во «Вебер», Донецкое отделение, 2008. – 305 с.
3. *Геолого-геофизическая модель Криворожско-Кременчугской шовной зоны Украинского щита* / Азаров Н.Я., Анциферов А.В., Шеремет Е.М., Глевасский Е.Б., Есипчук К.Е. Киев: Наук. думка, 2006. – 195 с.

4. *Паталаха Е.И.* Тектонические потоки как основа понимания геологических структур / Паталаха Е.И., Лукиенко А.И., Гончар В.В. – Киев: Феникс, 1995. – 159 с.
5. *Горайнов С.В.* Метаморфические и метасоматические комплексы Кировоградского блока Украинского щита / Горайнов С.В., Бухтатый В.Н., Горайнов Д.С., Исаева Е.П. – Харьков, «Екограф», 2004. – 173 с.
6. *Каляев Г.И.* Гранітизація і тектоніка (проблеми взаємозв'язку) // Геол. журн. – 1970, Т. 30, вип. 2. – С. 70-81.
7. *Старостенко В.И.* Кировоградский рудный район. Глубинное строение. Тектонофизический анализ. Месторождения рудных полезных ископаемых / В.И. Старостенко, О.Б. Гинтов, Н.И. Попов, О.Ф. Макивчук, А.А. Трипольский – Киев: «Прасты луды», 2013. – 499 с.
8. *Клочков В.М., Піяр Ю.К., Шевченко О.М.* Кіровоградський орогенний пояс. Будова та еволюція // Мін. ресурси України, 2006, №2. – С. 18-22.
9. *Комаров А.Н.* Редкометальные тектоно-метасоматические зоны Украинского щита / Комаров А.Н., Черкашин Л.А. – Киев: Наук. думка, 1991. – 179 с.
10. *Слензак О.И.* Локальные структуры зон напряжений докембрия. – К.: Наук. думка, 1984. – 102 с.
11. *Осьмачко Л.С.* Тектонічні умови формування породних асоціацій Інгульського мегаблоку Українського щита // Тектонофаціальний аналіз і проблеми геодинаміки. Памяти Е.И. Паталахи. Київ. ОМГОР. 2008. – С. 223-232.
12. *Осьмачко Л.С.* Голованівська шовна зона як гібридна дислокаційна структура // Мін. ресурси України. – 2012, № 4. – С. 23-32.
13. *Щербак Н.П.* Геологическая карта кристаллического основания Украинского щита. Масштаб 1:500 000 / Щербак Н.П., Клочков В.М., Пастухов В.Г., Пашкевич И.К. – Мин-во геологии СССР, 1983 – 9 л.
14. *Захаров В.В.* Державна геологічна карта України. М-б 1:200 000. Центральноукраїнська серія. L-36-XXXIV (Жовті Води), L-36-IV (Кривий Ріг) / В.В. Захаров, А.В. Мартинюк, Ю.М. Токар. – Державна Геологічна служба, КП «Південукргеологія», Криворізька КГП: Київ, 2002.
15. *Єсипчук К. Ю.* Кореляційна хроностратиграфічна схема раннього докембрію Українського щита / Єсипчук К. Ю., Бобров О. Б., Степанюк Л. М., Щербак М.П. УкрДГРІ. – К., 2004.
16. *Щербак Н.П.* Геохронология раннего докембрия Украинского щита (архей) / Щербак Н.П., Артеменко Г.В., Лесная И.М., Пономаренко А.Н. – Киев: Наук. думка, 2005. – 243 с.
17. *Щербак Н.П.* Геохронология раннего докембрия Украинского щита (протерозой) / Щербак Н.П., Артеменко Г.В., Лесная И.М., Пономаренко А.Н. – Киев: Наук. думка, 2008. – 240 с.
18. *Степанюк Л.М., Андрієнко О.М., Довбуш Т.І., Бондаренко В.К.* Вік формування порід Новоукраїнського масиву // Мін. журн., 2005, 27. – № 1 – С. 44-50.
19. *Шевченко А.Н.* Новоукраинский массив – структура и геодинамическая позиция // Геологія і магматизм докембрію Українського щита, Київ, 2000. – С. 115-118.
20. *Єсипчук К.Е.* Гранитоиды Украинского щита. Петрохимия, геохимия, рудоносность. Справочник / К.Е. Єсипчук, В.И. ОРСА, И.Б. Щербаков – К.: Наук. думка, 1993. – 231 с.
21. *Щербак Д.М.* Условия образования ураноносных альбититов Новоконстантиновской зоны (по изотопным данным): Дис. ...канд. геол.-мин. наук: 04.00.14/ІГФМ НАН Укр. ССР – К., 1981. – 168 с.
22. *Гурський Д.С.* Металогенічна карта України. М-б 1:1000 000 / Редактор Д.С. Гурський, автори: В.А. Колосовська, В.А. Веліканов, А.С. Войновський, А.П. Волик, Л.О. Демехін. – Держгеолслужба України, 2002 – 6 л
23. *Родыгин А.И.* Признаки направления смещения при деформации сдвига. Томск. Изд-во Томского университета, 1991. – 99 с.

REFERENCES

1. Ya. Belevtsev. Geneticheskiye tipy i zakonomernosti razmesheniia uranovykh mestorozhdeniy Ukrainy [Genetic types and patterns of distribution of uranium deposits in Ukraine] / Y.N. Belevtsev, V.V. Koval, A.K. Bakarzhiev, V.A. Anisimov, V.G. Batashov. – Kiev: Nauk. dumka, 1995. - 396 s. [in Russian]
2. A. Antsiferov. Geologo-geofizicheskaya model Golovanevskoy shovnoy zony Ukrainskogo shchita [Geological and geophysical model of Golovanevsk suture zone of Ukrainian Shield] / A.V. Antsiferov, E.M. Sheremet, E.B. Glevassky, K.E. Esipchuk. – Donetsk: Izd-vo "Veber", Donetskoe otделение, 2008. - 305 s. [in Russian]
3. Geologo-geofizicheskaya model Krivorozhko-Kremenchugskoy shovnoi zoni Ukrainskogo shchita [Geological-geophysic model of Krivorozhko-Kremenchug suture zone of the Ukrainian Shield] / Azarov N., Antsiferov A., Sheremet E., Glevassky E., Esipchuk K. Kulik S.N., Burahovich T.K., Pigulevsky P.I. — Kiev: Naukova Dumka, 2006. — 195 s. [in Russian]
4. E. Patalakha. Tektonicheskie potoki kak osnova ponimaniya geologicheskikh struktur [Tectonic flows as a basis for understanding of the geological structures] / E.I. Patalakha, A.I. Lukienko, V.V. Gonchar. - Kiev: Pheniks, 1995. - 159 s. [in Russian]
5. S. Goryainov. Metamorficheskie i metasomaticheskie komplekсы Kirovogradskogo bloka Ukrainskogo shchita [The metamorphic and metasomatic complexes of Kirovograd block of the Ukrainian Shield] / S.V. Goryainov, V.N. Buhtatiy, D.S. Goryainov, E.P. Isaeva – Kharkiv: "Ekograf", 2004. - 173 s. [in Russian]
6. G. Kaliev. Granityzatsiya i tektonika (problemy vzaemovyazku): geol. zhurn. [Granitization and tectonics (the problem of the relationship): Geol. Mag]. / G.I. Kaliev. - T 30, vyp. 2, 1970. - S. 70-81. [in Ukrainian]
7. V. Starostenko. Kirovogradskiy rudnyy rayon. Glubinnie stroenie. Tektonofizicheskiy analiz. Mestorozhdeniya rudnykh poleznykh iskopaemykh [Kirovograd ore district. Deep structure. Tectonophysical analysis. The deposits of ore minerals] / V.I. Starostenko, O.B. Gintov, N.I. Popov, O.F. Makivchuk, A.A. Tripolsky. – Kiev: "Prastyi Ludy", 2013. - 499 s. [in Russian]
8. V. Klochkov. Kirovogradskiy orogennyy poyas. Budova ta evolyutsiya [Kirovograd orogenic belt. Structure and Evolution] / V.M. Klochkov, YU.K. Piyar, A.M. Shevchenko. – Min. Resursy Ukrainy, 2006, №2. - S. 18-22. [in Ukrainian]
9. A. Komarov, L. Cherkashin. Redkometalnye tektono-metasomaticheskie zony Ukrainskogo shchita [Rare-metal tectonic and metasomatic zones of the Ukrainian Shield] / A.N. Komarov, L.A. Cherkashin. - Kiev: Nauk. dumka, 1991. - 179 s. [in Russian]
10. O. Slenzak. Lokalnye struktury zon napryazheniy dokemriya [Local structures of the stress zones of the Precambrian] / O.I. Slenzak. - K.: Nauk. dumka, 1984. - 102 s. [in Russian]
11. L. Osmachko. Tektonichni umovy formuvannya porodnykh asotsiatsiy Ingul'skogo megabloku Ukrainskogo shchita [Tectonic conditions of formation of rock associations of Ingul'sk megablock Ukrainian Shield] / L.S. Osmachko. - Kyiv: OMHOR, 2008. - S. 223-232 [in Ukrainian]
12. L. Osmachko. Golovanivska shovna zona ak gibridna dislokatsiina struktura [Golovanivsk suture zone as hybrid dislocation structure] // L.S. Osmachko. Min. resursi Ukrainski. – 2012, № 4. – S. 23-32. [in Ukrainian]
13. N. Shcherbak. Geologicheskaya karta kristalicheskogo osnovaniya Ukrainskogo shchita. Masshtab 1:500 000 [Geological map of the Ukrainian crystalline shield base. Scale 1: 500 000] / N.P. Shcherbak, V.M. Klotchkov, V.G. Pastukhov, I.K. Pashkevich. – Mingeo USSR, 1983 - 9 s. [in Russian]
14. V. Zakharov. Derzhavna geologichna karta Ukrainy. Mashtab 1:200 000. Tsentralnoukrainska seriya. L-36-XXXIV (Zhovti vody), L-36-IV (Kryvyi Rih) [State geological map of Ukraine. M. :1 to

- 200 000. Centralukrainian series. L-36-XXXIV (Zhovti vody), L-36-IV (Kryvyi Rih)]/ V.V. Zakharov, A.V. Martyniuk, Y.M. Tokar. – Derzhgeolsluzhba, KP "Pivdenukrgeologiya" Krivorizka KGP: Kyiv, 2002. [in Ukrainian]
15. K. Yesipchuk. Korelyaziyna khronostratygrafichna skhema rannyyogo dokemriyu Ukrainskogo shchita [Correlation chronostratigraphy diagram of Early Precambrian of the Ukrainian Shield / K.YU. Yesipchuk, A.B. Bobrov, L.M. Stepaniuk, N.P. Shcherbak. – K.: UkrDGRI, 2004 [in Ukrainian]
 16. N. Shcherbak, G.V. Geokhronologiya rannego dokembriya Ukrainskogo shchita (arkhey) [Geochronology of the Early Precambrian of the Ukrainian Shield (Archean)] / N.P. Shcherbak, G.V. Artemenko, I.M. Lesnaya, A.N. Ponomarenko. – Kiev: Nauk. dumka, 2005. - 243 s. [in Russian]
 17. N. Shcherbak. Geokhronologiya rannego dokembriya Ukrainskogo shchita (proterozoy) [Geochronology of the Early Precambrian of the Ukrainian Shield (Proterozoic)] / N.P. Shcherbak, G.V. Artemenko, I.M. Lesnaya, A.N. Ponomarenko. – Kiev: Nauk. dumka, 2008. - 240 s. [in Russian]
 18. L. Stepaniuk. Vik formuvannya pored Novoukrainskogo masyvu. Min. zhurnal [Age rock formation of the Novoukrainskiy massif] Min. Zh. / L.M. Stepaniuk, O.M. Andrienko, T.I. Dovbush, V.K. Bondarenko. - 2005, 27. - №1 - S. 44-50 [in Ukrainian]
 19. A. Shevchenko Novoukrainskiy massiv – struktura I geodinamicheskaya pozitsiya. Geologiya I magmatyzm dokemriyu Ukrainskogo shchita [Novoukrainsky massif – structure and geodynamic position] Geology and magmatism of Precambrian of the Ukrainian Shield / A.N. Shevchenko. – K., 2000. - S. 115-118 [in Russian]
 20. K. Esipchuk. Granitoidy Ukrainskogo shchita. Petrokhimiya, geokhimiya, rudonosnost. Spravochnik [The granitoids of the Ukrainian shield. Petrochemistry, geochemistry, ore-bearing. Directory] / K.E. Esipchuk, V.I. Orsa, I.B. Shcherbakov. - K.: Nauk. dumka, 1993. - 231 s. [in Russian]
 21. D. Shcherbak. Usloviya obrazovaniya uranonosnykh albititov Novokostiantynivskoy zony (po izonopnym dannym). Dis. Kand. geol.-min. nauk: 04.00.14/IGFM NAN Ukr. SSR [The conditions of formation of uranium-bearing zone albitites Novokostiantynivska zone (by isotope data). thesis candidate of geological-mineralogical sciences: 04.00.14 / IGFM NAS Ukr. SSR / D.M. Shcherbak. - K., 1981. - 168 s. [in Russian]
 22. D. Gursky. Metalogenichna karta Ukraini. Masshtab 1000000. [Metalogenic map of Ukraine. Scale 1:1000 000] / Editor D.S. Gursky, authorus: V.A. Kolosovska, V.A. Velikanov, A.S. Voinovskiy. – State geological Survey of Ukraine. 2002. [in Ukrainian]
 23. A. Rodygin. Priznaki napravleniya smesheniya pri deformatsyi sdviga [Signs of displacement direction when shear strain] / A.I. Rodygin. - Tomsk: Izd-vo Tomskogo Universiteta, 1991. - 99 s. [in Russian]

О СТРУКТУРНОЙ ПОЗИЦИИ РУДНЫХ СКОПЛЕНИЙ ИНГУЛЬСКОГО МЕГАБЛОКА УКРАИНСКОГО ЩИТА

Осьмачко Л. С., Студзинская А. О., Уварова Т. В.

Осьмачко Л. С. канд. геол. н., ст. н. с., ДУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины», osml@ukr.net

Студзинская А. О. м. н. с., ДУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины», anna.studz88@ukr.net

Уварова Т. В. н. с., Национальный университет обороны Украины имени Ивана Черняховского, uvartv@ukr.net

Предыдущими исследованиями установлено, что структурный узор центральной части Украинского щита, формировавшийся в несколько этапов существенно сдвиговых трансформаций кристаллического основания, соответствует дислокационной системе сдвига-ротации. Ее становление произошло в палеопротерозое, последующими тектоническими событиями образовавшийся структурный рисунок значимо не изменялся. В данной работе обосновано, что Новоукраинский массив гранитоидов является закономерной составляющей отмеченной системы и также формировался в несколько

этапов структурно-вещественных преобразований докембрийского фундамента. О чем свидетельствует его строение, сформированное геологическими телами более высоких рангов и нескольких генераций. Все тела составляющие Новоукраинский массив – гранитоиды, альбититы рудные и безрудные имеют одинаковое, гибридное строение, что указывает на их нераздельную, взаимозависимую структурно-вещественную эволюцию. На всех уровнях организации, от макро- до микроуровня, тела-составляющие массива формируют присдвиговые структурные рисунки. Наиболее интенсивно проявлен структурный рисунок генерации-1, формирование которого привязываем к палеопротерозою. Рудные объекты всех иерархических уровней являются закономерными составляющими наблюдаемых структурных рисунков, то есть они прошли ту же историю становления, что и вмещающие. Поэтому рудоперспективные тела занимают определенные структурные позиции в палеопротерозойском структурном рисунке, а именно приурочены к его присдвиговым теням давлений, что считаем руководящим поисковым критерием.

Ключевые слова: дислокационная система, массив гранитоидов, генерации структур, рудные тела, структурные позиции, сдвиг.

ABOUT THE STRUCTURAL POSITION OF ORE DEPOSITS OF THE INGUL MEGABLOK OF THE UKRAINIAN SHIELD

L. Osmachko, A. Studzinska, T. Uvarova

L. Osmachko Ph.D. (Geol.), Senior Researcher SI «Institute of Environmental Geochemistry of the NAS of Ukraine», osml@ukr.net

A. Studzinska Junior Researcher SI «Institute of Environmental Geochemistry of the NAS of Ukraine», anna.studz88@ukr.net

T. Uvarova Researcher Ivan Chernyakhovsky National University of Defense of Ukraine, uvarty@ukr.net

It is found by previous studies that the structural pattern of the central part of the Ukrainian shield, formed in several stages of substantially shear transformations of the crystalline basement, corresponds to the dislocation shift-rotation system. Its formation took place in the Paleoproterozoic, subsequent tectonic events resulting structural pattern was not significantly changed. In this paper we proved that Novoukrainsky granitoid massif is a typical component of the mentioned system and also formed in several stages of structural and substantial transformation of the Precambrian basement. It is proved by its structure formed by geological bodies of higher ranks and several generations. All components bodies of the Novoukrainsky massif - granitoids, albitites ore and barren have the same, the hybrid structure, indicating that they have an indivisible, interdependent structural and substantial evolution. At all levels of the organization, from macro- to microlevel, the body, components of the massif, form pre-shift structural pattern. The structural pattern of the generation 1, the formation of which is attached to the Paleoproterozoic, is appeared the most intensively. Ore objects of all hierarchical levels are regular components of the observed structural patterns, that is, they have the same formation history as adjacent strata. Therefore, ore-perspective bodies occupy certain structural positions in the Paleoproterozoic structural patterns, namely, attached to his pre-shift pressures shadows, it is believed, the leading search criteria.

Keywords: dislocation system, granitoid massif, generation of the structures, ore bodies, structural cells, shift.

УДК 553.411.071:551.72:553.08(477)

МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЗОЛОТОГО ОРУДЕНЕНИЯ ЮРЬЕВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (УКРАИНСКИЙ ЩИТ, ИНГУЛЬСКИЙ МЕГАБЛОК)

Заборовская Л. П., Фомин Ю. А., Покалюк В. В., Сливинский В. М.

Заборовская Л. П. м. н. с. ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины», larisa-zaborovskaja@rambler.ru
Фомин Ю. А. канд. геол.-мин. наук, ст. н. с. ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины», yaf1941@gmail.com
Покалюк В. В. докт. геол. наук, ст. н. с. ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины», pvskan@ukr.net
Сливинский В. М. главный специалист-программист ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины»

Проведено минералого-геохимическое изучение вещественного состава руд, окорудных метасоматитов и вмещающих породных комплексов Юрьевского золоторудного месторождения Украинского щита. В составе рудного этапа определены две рудно-метасоматические стадии, отличающихся масштабом проявления, составом парагенетических минеральных ассоциаций, характером метасоматических преобразований, морфогенетическими особенностями рудных и метасоматических минералов, типоморфными свойствами золота. Установлен «сквозной» непрерывно-дискретный характер выделения золота в рудном процессе (присутствие в рудах трех модификаций самородного золота – низко-, средне- и высокопробного, с доминированием высокопробного). Обозначена связь наибольших концентраций золота с заключительной стадией процесса рудообразования, сопровождаемой низкотемпературным барий-калиевым метасоматозом – гумбеитизацией. Типоморфный парагенезис гумбеитов – барийсодержащий калишпат, серицит, кальцит.

Ключевые слова: золото, оруденение, метасоматоз, гумбеиты, докембрий, Украинский щит, Ингульский мегаблок.

Введение

Ингульский мегаблок как рудоносная металлогеническая область перешел в ранг перспективных на золото в 80-х годах прошлого столетия. Здесь были выявлены 2 месторождения (Клинцовское и Юрьевское) и ряд рудопроявлений золота нового рудно-генетического типа, названного «клинцовским» [1], связанного с тектоно-метасоматическими зонами в глубокометаморфизованных гнейсовых комплексах докембрия. Изучением месторождений и рудопроявлений данного типа в Ингульском мегаблоке занимались Г.М. Яценко, А.К. Бабынин, Д.С. Гурский, А.Б. Бобров, Ю.А. Фомин, М.А. Ярошук, С.В. Нечаев, С.Н. Бондаренко, А.Р. Белевцев, Р.Я. Белевцев, И.В. Попивняк, В.Н. Кобзарь, О.Н. Братчук, С.А. Галий, Н.К. Ширинбеков, В.П. Снисарь, А.Л. Фалькович и др. Характерной особенностью этих золоторудных проявлений является золото-кварцевый малосульфидный состав руд, что послужило причиной их отнесения к малосульфидной золото-кварцевой формации (по классификации Н.В. Петровской [2]) с содержанием сульфидов от 0,5 до 5%. Рудопроявления и месторождения золота клинцовского типа приурочены к тектоно-метасоматическим зонам, ограничивающим с востока и запада Новоукраинский и Корсунь-Новомиргородский гранитоидные массивы и локализованы преимущественно в пределах распространения гнейсов ингуло-ингулецкой серии нижнепротерозойского возраста. Большинство исследователей принимается протерозойский возраст золотого оруденения (~2 млрд. лет [3, 4], 1,8–1,6 млрд. лет [5]).

Несмотря на значительные успехи в изучении золоторудных месторождений и рудопроявлений клинцовского типа на УЩ, практически все теоретические аспекты генезиса

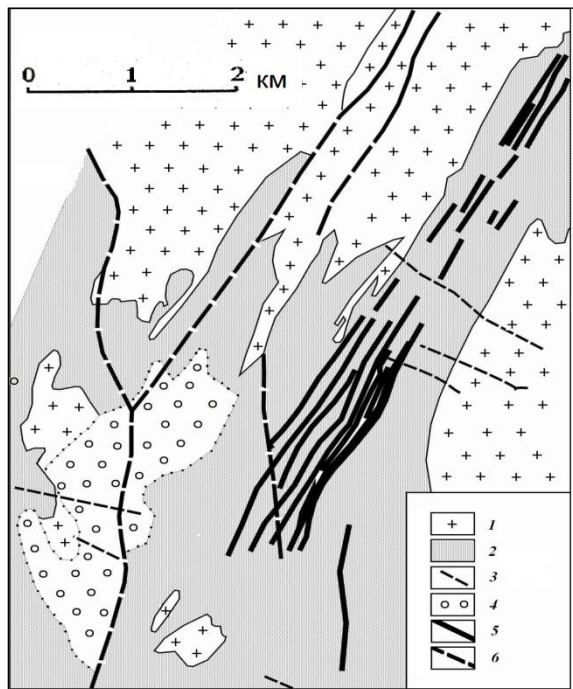
и вопросы прогнозирования золотого оруденения этого типа остаются неоднозначными и дискуссионными. Существует научная целесообразность совершенствования минералого-геохимических критериев и признаков золотого оруденения для разработки эффективной методики поисков новых рудных объектов, разведки и эксплуатации открытых месторождений. В связи с этим, **целью данной работы** было всестороннее изучение вещественного состава руд, околорудных метасоматитов и вмещающих оруденение пород Юрьевского месторождения, по которому до сих пор известно крайне мало публикаций [3, 6–9].

Геолого-структурная позиция Юрьевского месторождения и строение рудного поля

Месторождение находится в северо-восточной части Компанеевского (Юрьевского) рудного поля (рис.1), которое приурочено к восточному экзоконтакту Новоукраинского гранитоидного массива с нижнепротерозойскими гнейсами чечелевской свиты ингуло-ингулецкой серии в пределах Кировоградской тектоно-метасоматической зоны. Гнейсы составляют западное крыло Приингульской синклинали (падение на восток $50-70^\circ$), осложненной в пределах рудного поля Кировоградской зоной разломов и оперяющими ее разноплановыми разрывными структурами.

Протяжённость Юрьевского рудного поля составляет 13 км при ширине около 2 км. Кроме золота, в пределах Компанеевского (Юрьевского) рудного поля, в его юго-западной части, промышленный интерес представляют урановорудные натриево-карбонатные метасоматиты [10].

Золоторудное месторождение ограничено пределами крупного останца гнейсов, который в виде узкой полосы длиной около 3, шириной от 1 до 2,5 км простирается в северо-восточном направлении (рис.1).



Останец гнейсов расположен между массивами автохтонных гранитоидов кировоградского комплекса возрастом 2,06–1,97 млрд. лет [11]. Гнейсы смяты в изоклинальные, реже брахиформные складки. За пределы гнейсов, в близлежащие гранитоидные массивы оруденение не распространяется.

Вмещающие оруденение породы регионально метаморфизованы в условиях амфиболитовой фации и представлены существенно биотитовыми, графит-биотитовыми (графита до 5%), значительно реже кордиерит-биотитовыми, гранат-биотитовыми, двупироксен-амфиболовыми гнейсами с обилием аплит-пегматоидной лейкосомы.

Рис. 1. Геолого-структурная схема Юрьевского рудного поля (по данным КП «Кировгеология»)

- 1 – гранитоиды кировоградского комплекса;
- 2 – гнейсы чечелевской свиты; 3 – дайки диабазовых порфиров;
- 4 – ураноносные альбититы Юрьевского месторождения;
- 5 – зоны золото-кварцевой минерализации Восточно-Юрьевского месторождения;
- 6 – тектонические нарушения

Структурное положение месторождения определяется расположением его в субмеридиональной Кировоградской зоне разломов и оперяющей Марьевской тектонической

зоне северо-восточного простирания. Золотое оруденение приурочено к участкам милонитизации и катаклаза и представляет собой серию линейных линзо-, жило- и штокверкоподобных тел кварц-полевошпатового состава с рудной минерализацией, залегающих субогласно вмещающим биотитовым гнейсам.

Мощность золоторудных тел изменяется от десятков сантиметров до нескольких десятков метров, а протяженность – от первых сотен метров до 1–2 км. Содержание золота в рудах неравномерное – от десятых долей до 34,5 г/т, в отдельных образцах до 77,1–153,8 г/т. Рудные зоны выделены по содержанию золота от 0,1 г/т. Количество рудных минералов в рудных зонах не превышает 3–5%, определяя принадлежность оруденения к малосульфидному золото-кварцевому типу [3].

Результаты минералого-геохимических исследований золотого оруденения. Главными рудными минералами на Юрьевском месторождении являются пирротин, пирит, халькопирит. Реже встречаются арсенопирит, леллингит, сфалерит, галенит; пентландит, самородное золото, самородный висмут, висмутин, теллуриды и сульфотеллуриды висмута и свинца. Самородное золото ассоциирует главным образом с теллуридами и сульфотеллуридами висмута и свинца, галенитом, халькопиритом, пирротином. Жильные минералы – кварц, плагиоклаз (альбит, олигоклаз), микроклин, барийсодержащий калишпат (адуляр(?)), турмалин. В околожильном пространстве встречаются карбонаты: кальцит, анкерит, сидерит

Минеральные парагенетические ассоциации руд и последовательность их формирования. Анализ опубликованных по Юрьевскому месторождению схем рудообразования [3, 6–8] показывает, что, несмотря на существенные различия, все они выявляют в своей основе общую закономерную последовательность рудного процесса, характерную в целом для золоторудных месторождений [2]. Эта последовательность выражается в смене высокотемпературных минеральных ассоциаций, в которых основными рудными минералами являются арсенопирит и пирит, низкотемпературными сульфидными ассоциациями с пирротином, халькопиритом, галенитом и самородным золотом.

В данной работе, авторы, с учётом новых полученных материалов, представляют двухстадийную схему последовательности рудообразования (таблица 1). Рудный процесс в этой схеме скоррелирован с сопутствующими метасоматическими явлениями. В объёме рудного этапа выделены две стадии процесса рудообразования, вещественным отображением которых являются два минеральных комплекса, отличающиеся друг от друга масштабом проявления, составом рудных и окорудных минеральных парагенезисов, характером метасоматических преобразований, морфогенетическими особенностями рудных и метасоматических минералов (в том числе типоморфными особенностями золота).

В течение *ранней рудной (золотосодержащей) стадии* сформировался комплекс минералов (ранний золотосодержащий комплекс) с золотом в тонкодисперсной форме («невидимое» золото). Минералы данного комплекса в количественном отношении значительно преобладают (85–90% от общего количества рудных минералов). Золото здесь является трудноизвлекаемым («упорным»). Ранний минеральный комплекс состоит из двух минеральных парагенетических ассоциаций, близких по составу: 1) *пирит-арсенопирит-пирротиновой с халькопиритом, сфалеритом, пентландитом и графитом* и 2) *пирит-арсенопиритовой (с лёллингитом?) и пирротином*. Формирование раннего минерального комплекса происходило при температуре 245–200°C [12].

В течение *поздней рудной (продуктивной) стадии* образовался комплекс минералов (поздний продуктивный комплекс), включающий золото в видимой самородной форме. Комплекс представлен одной минеральной парагенетической ассоциацией – *пирротин-халькопирит-галенитовой с видимым самородным золотом, теллуридами и сульфотеллуридами висмута и свинца, висмутином и самородным висмутом*. Поздний минеральный комплекс образовался при температуре 200–160°C [12]. С данным комплексом связаны основные запасы технологически легче извлекаемого золота (свободного).

Таблица 1. Схема последовательности рудообразования на Юрьевском месторождении

Ю.А. Фомин, Ю.П.Шестаков, Л.П.Заборовская [8]		Л. П. Заборовская и др. (2016)			
Этап	Ассоциация	Этап	Стадия	Ассоциация	Метасоматоз
До-рудный	Пирротин-халькопиритовая с пентландитом	Рудный	Ранняя рудная (золото содержащая) с тонкодисперсным золотом	Пирит-арсенопирит-пирротиновая с халькопиритом, сфалеритом, графитом	Формирование олигоклаз - кварцевых жил с биотитовой оторочкой. Образование анкерита и сидерита
Рудный	Кварц-пирит-арсенопиритовая			Кварц-пирит-арсенопиритовая (+ лёллингит?)	Образование дымчатого кварца Барийсодержащий калишпат (адуляр?) – мусковит – – кальцит (гумбеитизация)
	Пирротин-халькопирит-сфалеритовая с самородным высокопробным золотом ----- Золото-висмут-галенитовая с теллуридами висмута и низкопробным самородным золотом		Поздняя рудная (продуктивная) с видимым самородным золотом	Пирротин - халькопирит-галенитовая с видимым самородным золотом, теллуридами и сульфотеллуридами и висмута, свинца и серебра, висмутином и самородным висмутом	

Рудные минералы *пирит-арсенопирит-пирротиновой ассоциации* сегрегируются большей частью в пределах околожилных биотитовых оторочек олигоклаз-кварцевых и кварцевых жил и прожилков, слагая линзовидные, линзо-полосовидные моно- и полиминеральные (пирротиновые, пирит-пирротиновые, арсенопирит-пирит-пирротиновые) выделения, ориентированные согласно вдоль зальбандов. Характер выделения рудных минералов свидетельствует об их одновременном формировании с кварцевыми и олигоклаз-кварцевыми прожилками. Кварц прожилков – молочно-белый, непрозрачный.

Следующая минеральная парагенетическая ассоциация – *пирит-арсенопиритовая с пирротинном* – связана с образованием дымчатого, прозрачного кварца, имеющего сливной облик. Рудные минералы данной ассоциации, совместно с дымчатым кварцем, тяготеют к внутренним участкам кварцевых и олигоклаз-кварцевых жил и прожилков, а также развиваются по тонким трещинкам, секущим околожилную биотитовую оторочку и рудные минералы предыдущей ассоциации. Сходный минеральный состав данных двух ассоциаций позволяет предположить их выделение в пределах одной стадии, считая тектоническую подвижку между ними внутростадийной. Неоднократная внутростадийная перегруппировка

рудного вещества характерна для ранних сульфидных ассоциаций золоторудных месторождений [2].

Поздний минеральный комплекс (*пирротин – халькопирит – галенитовая ассоциация с видимым самородным золотом, теллуридами и сульфотеллуридами висмута и свинца, висмутином и самородным висмутом*) пространственно тяготеет к тем же олигоклаз-кварцевым и кварцевым прожилкам, а также их зальбандам, включающим ранний минеральный комплекс, однако, по отношению к нему поздний является наложенным (развивается по «собственным» микротрещинам). Основные типоморфные свойства данной ассоциации таковы: 1) рудные минералы (самородные золото и висмут, висмутин, теллуриды и сульфотеллуриды висмута и свинца и др.) образуют совместные тонкие микросрастания и микроскопления (рис.2); 2) рудные минералы образуют чрезвычайно мелкие (ультрамелькие) выделения (первые микроны, редко до 10-20 микронов); наиболее характерный размер зёрен на несколько порядков меньше размера рудных выделений раннего минерального комплекса; 3) рудные минералы данной ассоциации развиваются исключительно в участках тончайшего катаклаза, выполняя микротрещины; 4) образование рудных минералов сопровождается развитием тонких (микроскопически проявленных) выделений околорудных метасоматических минералов – барийсодержащего калишпата, серицита, кальцита.

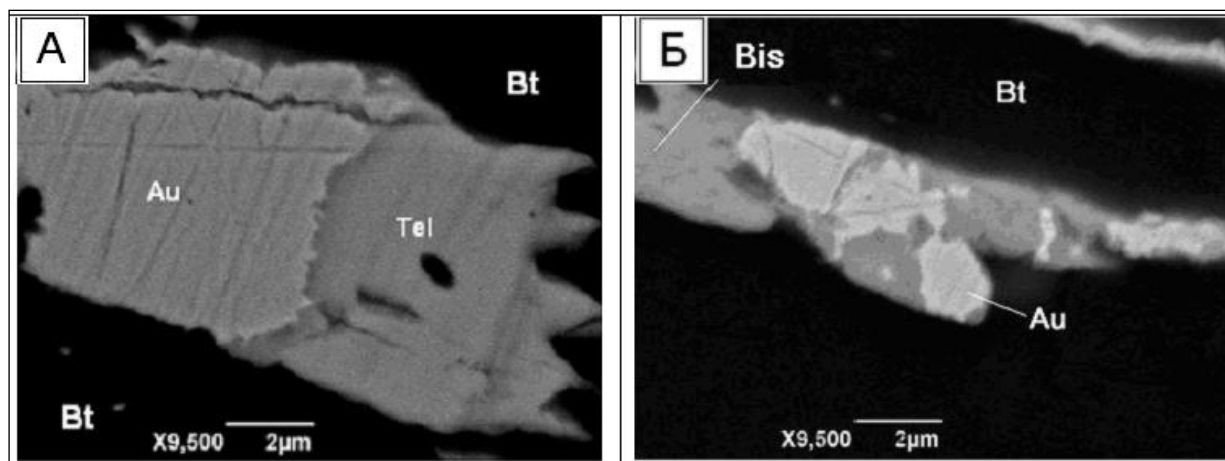


Рис. 2. Микросрастания самородного золота с теллуридом висмута (А) и висмутином (Б). Аншлиф. Электронные снимки. Скви. 3052, гл. 213,3 м.

Околорудный метасоматоз. Метасоматический процесс разделен нами на две стадии, синхронные и парагенные рудным стадиям (таблица 1). На ранней метасоматической стадии произошло формирование олигоклаз-кварцевых прожилков (с молочно-белым кварцем) с последующим внутростадийным отложением дымчатого кварца. Сегрегация жильных минералов (кварца, олигоклаза) в жилы олигоклаз-кварцевого состава сопровождалась околзальбандовой и внутрижильной кристаллизацией сульфидов ранних генераций (пирит, арсенопирит, ранний пирротин), содержащих золото в тонкодисперсной («невидимой») форме. Олигоклаз-кварцевые прожилки часто сопровождаются околосильными биотитовыми оторочками. На метасоматическое происхождение олигоклаз-кварцевых прожилков, жил и околосильных биотитовых оторочек указывает близость химического состава олигоклаза, слагающего прожилки и вмещающие гнейсы, а также биотита околосильных оторочек и вмещающих гнейсов.

Для поздней метасоматической стадии характерно развитие тонкой, микроскопически проявленной калишпатизации олигоклаза и серицитизации биотита вокруг выделений видимого самородного золота (рис. 3) [13]. Калиевый полевой шпат (КПШ) является здесь

главным типоморфным метасоматическим околорудным (синрудным) минералом. Он развивается по олигоклазу, то есть метасоматический процесс происходил с привнесом калия. Калиевый полевой шпат, замещающий олигоклаз, обогащён барием (BaO – до 1,8 вес.%, количество анализов – 21), что указывает на барий-калиевую специфику золотообразующих растворов. В этих же участках наблюдаются зёрна кальцита микронных размеров. Кроме типоморфной примеси бария, в КПШ отмечается также присутствие SO_3 (до 1,8 вес.%), SeO_2 (до 0,5 вес.%) и Tl_2O (до 0,5 вес.%). Таким образом, по составу новообразованных метасоматических минералов, сопровождающих отложение золота (барийсодержащий калиевый полевой шпат, серицит, кальцит), тип околорудных метасоматических изменений соответствует низкотемпературному калиевому метасоматозу – гумбеитизации. Важнейшими его особенностями являются исключительно тонкий (микроскопический) характер проявления и присутствие барийсодержащего калишпата в составе околорудного парагенезиса метасоматических минералов.

Бариеносность метасоматического калиевого полевого шпата, сопровождающего образование золота (вплоть до бариеистого ортоклаза – гиалофана), отмечается в последнее время на многих золоторудных месторождениях различного возраста и генезиса [14, 15]. Золотосопровождающий процесс гумбеитизации характеризуется не только повышенным содержанием бария, но и селена [14]. Это же явление отмечается и на Юрьевском месторождении: селен присутствует в качестве примеси в околорудном метасоматическом калиевом полевоом шпате и парагенном золоту теллуриде висмута – Se-содержащем хедлейте (Se до 4%) [13].

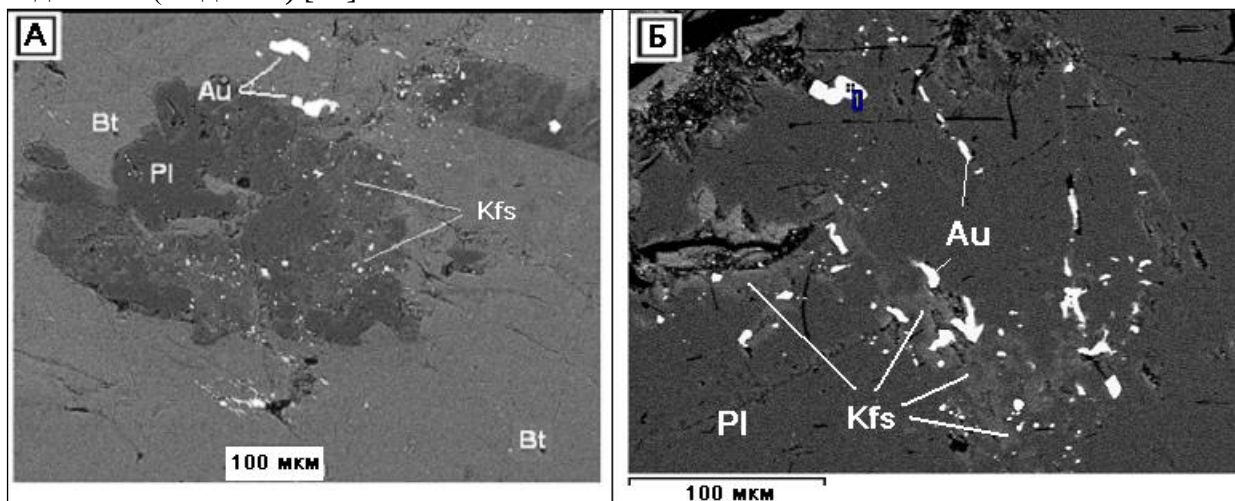


Рис. 3. Тонкая калишпатизация олигоклаза вокруг выделений видимого самородного золота

А – Околожильная биотитовая оторочка (серое) с зернами олигоклаза (темно-серое) пересекается тончайшими ветвящимися трещинками с обильной тонкой вкрапленностью золота. Вокруг зёрен золота в олигоклазе развивается барийсодержащий калишпат (светлые ореолы).

Б – Калишпатизация олигоклаза вокруг тонкой вкрапленности золота в олигоклаз-кварцевом прожилке.

Обозначения минералов: Au – золото, Bt – биотит, Kfs – барийсодержащий КПШ, Pl – плагиоклаз (олигоклаз). Электронные снимки. Скв. 3052, глуб. 213,3 м.

Типоморфные особенности самородного золота. Золото на месторождении присутствует в виде двух морфогенетических типов: «невидимого» (тонкодисперсного), входящего в состав сульфидов ранних ассоциаций, и видимого (ультрамелкого), связанного с поздней рудной (продуктивной) ассоциацией [16]. Видимое самородное золото чаще всего развивается во внутренних и зальбандовых частях олигоклаз-кварцевых прожилков, локализующихся среди биотитовых и графит-биотитовых плагиогнейсов

Видимое самородное золото и сопровождающие его парагенные рудные минералы (поздние пирротин и халькопирит, галенит, висмутин, самородный висмут, теллуриды и сульфотеллуриды висмута и свинца) образуют микроскопические выделения, которые развиваются исключительно по микротрещинкам, рассекающим как полевошпат-кварцевый материал прожилков, так и околожильную биотитовую оторочку (рис.4).

Размер выделений видимого золота в основном варьирует от 2 до 15-20 микрон, редко встречаются зёрна до 0,6-1,0 мм. Выделения золота микронных размеров могут образовывать скопления, в которых насчитываются десятки зёрен. Самородное золото, как правило, трещинное (по классификации Н.В. Петровской [2]), редко встречаются интерстициальные выделения.

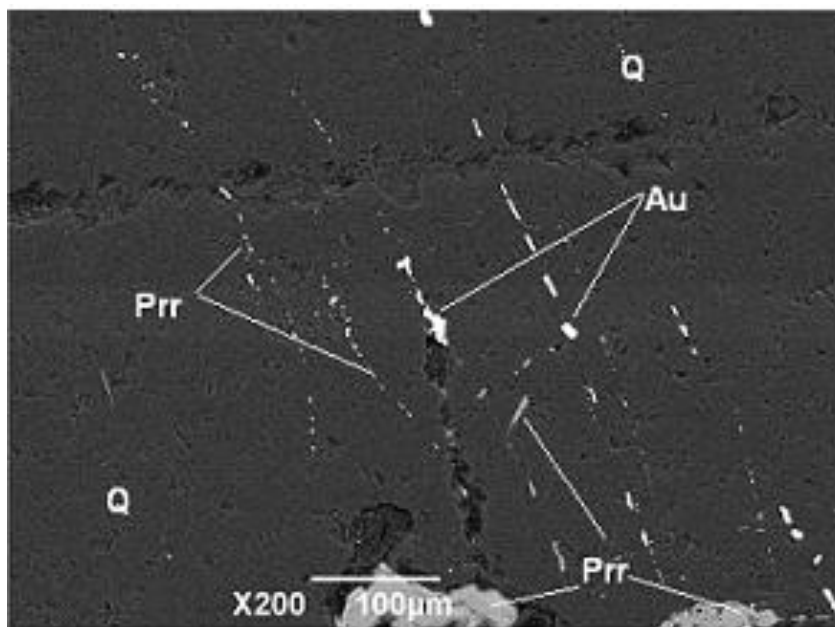


Рис. 4. Микротрещинные выделения золота в кварце олигоклаз-кварцевого прожилка

*Аншлиф. Электронный снимок. Скви. 3052, гл. 213,3 м.
Обозначения минералов: Q – кварц, Prr – пирротин, Au – золото*

Нами изучен химический состав золота по результатам микрондового и электронно-микроскопического анализов (таблица 2). Главной примесью является Ag (от 1,6 до 26,7%); другие примеси (Bi, Te, Sb, Zn, Pb, Cu, As, Ni, Co, S, Fe, Cl, Ba, Os, Sn) в сумме не превышают 3%. Установлен дискретно-непрерывный характер пробности золота (рис. 5). Выделены три статистически достоверных интервала его пробности: 1) высокая пробность (910-980); 2) средняя (820-890), 3) низкая (700-770).

Высокопробное золото, по сравнению со средне- и низкопробным, встречается значительно чаще. Именно высокопробное золото образует скопления из большого количества индивидуализированных зёрен.

Кроме мономинеральных выделений, высокопробное золото образует сростки с рудными минералами – теллуридами и сульфотеллуридами висмута и свинца, Se-содержащим теллуридом висмута, самородным висмутом, висмутином, поздними пирротинном и халькопиритом. Высокопробное золото не образует совместных выделений с галенитом. Золото средней и низкой пробности образует как сростки, так и совместные скопления отдельных зёрен с самородным висмутом, теллуридами висмута и галенитом, однако не образует совместных выделений с висмутином.

Таблица 2. Химический состав самородного золота в рудах Юрьевского золоторудного месторождения (в вес.%)

№ан	Au	Ag	Bi	Te	Sb	Zn	Pb	Cu	As	Ni	Co	S	Fe	Cl	Ba	Os	Sn
1	96,27	2,70	0,00	—	—	—	—	0,60	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	96,85	2,60	0,00	—	—	—	—	0,49	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	96,31	2,80	0,00	—	—	—	—	0,69	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4	82,97	15,32	0,00	0,43	—	0,00	0,00	0,00	—	0,00	0,00	1,28	—	—	—	—	—
5	83,78	15,26	0,00	0,00	—	0,00	0,00	0,19	0,00	0,00	0,00	0,77	—	—	—	—	—
6	92,09	6,30	0,00	0,00	0,00	0,00	—	0,00	0,00	0,00	0,00	—	—	0,99	0,00	—	—
7	88,66	7,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,02	0,13	—	—	0,53	—
8	84,51	11,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,04	0,00	0,00	2,48	0,25	—	—	0,00	—
9	74,15	24,83	0,00	0,00	0,00	0,23	0,00	0,00	0,80	0,00	0,00	0,00	0,00	—	—	0,00	—
10	75,80	24,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	—	—	0,00	—
11	83,12	13,88	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,42	0,58	—	—	0,00	—
12	73,94	25,00	0,54	0,03	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	—	—	—	—
13	91,94	7,10	0,32	0,11	0,02	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	—	—	—	—
14	93,21	6,80	0,30	0,02	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	—	—	—	—
15	73,77	26,70	0,06	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
16	70,46	26,20	1,03	0,11	0,00	0,00	0,12	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	—	—	—	—
17	91,67	8,10	0,00	—	—	—	—	0,02	—	—	—	—	—	—	—	—	—
18	96,31	2,80	0,00	—	—	—	—	0,19	—	—	—	—	—	—	—	—	—
19	94,34	2,62	0,00	0,00	—	—	—	—	—	—	—	3,04	—	—	—	0,00	—
20	94,60	2,06	0,00	0,00	0,00	—	0,00	—	0,00	—	—	2,31	—	—	—	0,51	0,52
21	97,47	1,64	0,00	0,00	0,00	—	0,00	0,34	0,00	0,00	0,00	3,11	—	0,55	0,00	0,00	—
22	97,99	2,01	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
23	96,46	1,87	0,00	0,00	0,00	0,00	1,66	0,00	0,00	0,00	0,00	—	—	—	—	—	—
24	95,00	2,65	0,00	0,00	0,00	0,00	1,34	0,00	0,00	0,00	0,00	—	—	—	—	—	—
25	97,77	2,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	—	—	—	—	—	—
26	94,31	3,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,39	0,00	0,00	0,00	0,00	2,03	—	—	—	—
27	94,53	2,31	0,00	0,00	0,00	0,00	2,33	0,00	0,00	0,00	0,00	—	0,83	—	—	—	—
28	95,20	1,86	0,00	0,00	0,00	0,00	2,94	0,00	0,00	0,00	0,00	—	—	—	—	—	—
29	94,53	3,58	0,00	0,74	0,73	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,42	—	—	—	—	—	—
30	96,45	2,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	—	—	—	—
31	96,00	2,90	0,004	0,17	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00	0,08	0,38	—	—	—	—
32	96,64	2,90	0,00	0,04	0,00	0,04	0,00	0,17	0,00	0,00	0,00	0,04	0,02	—	—	—	—

Примечание к таблице: (—) - содержание не определялось. Анализы: 1-3 – скв.3574, гл.108,7м.; 4,5 – скв.3609, гл. 95,6 м; 6-17 – скв.3624, гл.338,7м.; 18-32 – скв.3052, гл.213,3м. Анализы выполнены в Техническом центре НАН Украины на микроанализаторе JСХА-733, аналитик В.И. Соболев; в ИГМР НАН Украины на микроанализаторе JСХА-5, аналитик И.Н.Бондаренко; в ИГОС НАН Украины на электронном микроскопе JEOL JSM-6490LV, аналитик В.М.Сливинский.

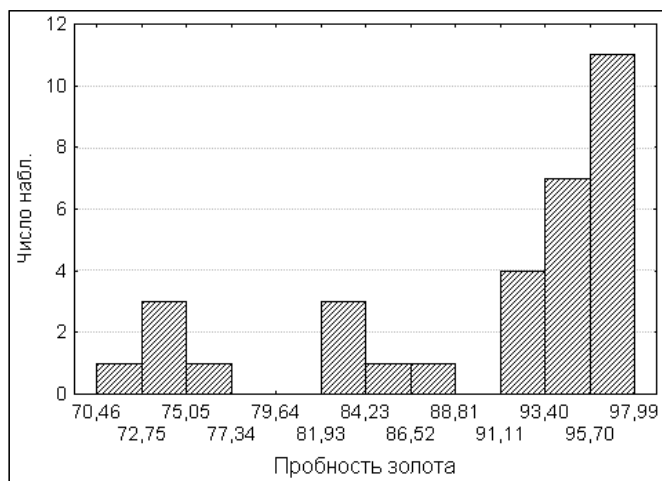


Рис. 5. Дискретно-непрерывный характер пробности золота.

свидетельствует о его принадлежности к единой (главной продуктивной) минеральной парагенетической ассоциации – пирротин-халькопирит-галенитовой с видимым самородным золотом, теллуридами и сульфотеллуридами висмута и свинца, висмутином и самородным висмутом. Исходя из взаимоотношений видимого золота и парагенных ему рудных минералов, можно предположить постепенное выделение золота разной пробности в пределах единой ступени минералообразования (в понимании Н.В. Петровской [17]).

Теллуридная минерализация. В последние годы происходит переоценка роли теллура в геохимии и минералогии золота. Выявлено, что теллуриды являются одним из прямых и однозначных признаков продуктивных комплексов золоторудных месторождений. На Юрьевском золоторудном месторождении теллуридная минерализация впервые была выявлена нами. [9]. Характер взаимоотношений теллуридной минерализации с золотом свидетельствует об их парагенности (рис. 5). Теллуриды и сульфотеллуриды висмута и свинца входят в состав продуктивной пирротин – халькопирит – галенитовой, с видимым самородным золотом, висмутином и самородным висмутом, минеральной парагенетической ассоциации. Для выделений теллуридов, сульфотеллуридов и ассоциирующих с ними минералов характерны исключительно мелкие размеры – в пределах 0,01-0,05 мм.

Теллуридная минерализация представлена теллуридами и сульфотеллуридами висмута и свинца – цумоитом (BiTe), хедлейитом (Bi_2Te), Se-содержащим хедлейитом, сульфоцумоитом ($\text{Bi}_3\text{Te}_2\text{S}$) и неназванными фазами Bi_2PbTe_2 и Bi_3Te_2 . Среди этих фаз следует отметить практически полное доминирование соединений с висмутом – наиболее распространённой фазой является пока не имеющая собственного названия фаза Bi_3Te_2 . Далее по степени распространённости следуют хедлейит и цумоит. Теллуриды и сульфотеллуриды висмута и свинца – фаза $\text{Bi}_2\text{PbTe}_2(?)$, Pb-содержащий сульфоцумоит и Se-содержащий хедлейит – встречаются крайне редко. В качестве примесей, в незначительном количестве (доли %), в теллуридах и сульфотеллуридах встречаются Ag, Sb, Zn, Ni, Cu.

Наличие теллуридной минерализации на Юрьевском месторождении является прямым поисковым признаком золотого оруденения, поскольку теллуриды и сульфотеллуриды висмута и свинца тесно ассоциируют с золотом, образуя совместные скопления и сростания.

Генетические особенности рудообразования и критерии прогнозирования. Проблема генезиса золотого оруденения клинцовского типа до последнего времени окончательно не решена – существует множество вариантов концепций гидротермального, гидротермально-метасоматического, метаморфогенного и метаморфогенно-гидротермального генезиса [1, 3, 18-20]. На основании новых минералого-геохимических

данных, с учётом исследований предшественников и фундаментальных работ по метасоматозу Б.И. Омеляненко (1978); В.А. Рудника (1970), мы пришли к выводу о гидротермально-метасоматическом генезисе золоторудной минерализации на Юрьевском месторождении. Свидетельством этого являются: 1) прожилково-трещинный (в том числе микротрещинный) характер проявления рудной минерализации; 2) наличие околорудных (околорудных) метасоматических преобразований; 3) пневматолито-гидротермальный характер и РТ-параметры рудонесущих флюидов (по данным изучения газовой-жидких включений [7]; 4) геохимическая зональность рудных тел золотопроявлений клинцовского типа [21]. Нами подтверждена генетическая связь главной продуктивной стадии золоторудного процесса на Юрьевском месторождении с околорудным барий-калиевым метасоматозом – гумбеитизацией, вещественным выражением которой является формирование околорудного парагенезиса метасоматических минералов (барийсодержащий калишпат, серицит, кальцит). Процесс гумбеитизации является характерным для фанерозойских золото-урановорудных гидротермальных систем.

В отношении источника гидротермальных растворов и рудного вещества, то он был, скорее всего, полигенным. Имеются убедительные доказательства того, что источником вещества, как рудного (золота и других металлов), так и минерализаторов (серы и углерода), а также водосодержащих флюидов, в основном, являются гнейсовые толщи чечелевской свиты [3, 22]. Наряду с этим, ряд исследователей приводят данные о генетической связи рудоносных флюидов с коровым гранитоидным магматизмом [4, 23]; имеются также признаки привноса рудного вещества флюидами мантийного происхождения [5].

Результаты исследований позволяют предложить *новые поисковые минералогическо-геохимические критерии золотого оруденения*: 1) наличие теллуридной минерализации – важнейший критерий золоторудного процесса; 2) развитие метасоматического околорудного барийсодержащего калишпата; 3) присутствие в околорудном пространстве железо-магнезиальных карбонатов (анкерита, сидерита); 4) присутствие комплекса химических элементов, сопровождающих золото – мышьяка, висмута, бария, селена, сурьмы, таллия, теллура; 5) наличие прямой геохимической зональности рудных тел.

Выводы

1. Процесс рудообразования на Юрьевском месторождении имеет гидротермально-метасоматический характер и полигенный источник рудного вещества и флюидов.

2. Рудообразование на Юрьевском золоторудном месторождении протекало в две рудно-метасоматические стадии: 1) раннюю рудную (золотосодержащую) с тонкодисперсным золотом; 2) позднюю рудную (продуктивную) с видимым самородным золотом. Температурный интервал рудного процесса – 245-160°.

3. Золото в рудном процессе является «сквозным» элементом: в ранних ассоциациях оно присутствует в тонкодисперсной («невидимой») форме, входя в состав рудных минералов; в составе поздней минеральной ассоциации золото отлагается в видимой свободной самородной форме. Установлено присутствие в рудах трех модификаций самородного золота (низко-, средне- и высокопробного), с преобладанием высокопробного. Отложение золота в промышленных концентрациях связано с заключительной стадией процесса рудообразования.

4. Главный (продуктивный) золоторудный процесс на Юрьевском месторождении связан с низкотемпературным барий-калиевым метасоматозом (гумбеитизацией), типоморфным минералом которого является барийсодержащий калиевый полевой шпат.

5. Выявленная теллуридная минерализация на Юрьевском месторождении является прямым признаком золотого оруденения.

6. Типоморфной морфологической особенностью выделений свободного самородного золота является его преимущественно микротрещинный характер развития и ультрамелкий размер выделений, что должно учитываться при разработке технологических схем извлечения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Яценко Г.М., Бабынин А.К., Гурский Д.С. и др. Месторождения золота в гнейсовых комплексах докембрия Украинского щита. – Киев: Геоинформ, 1998. – 256 с.
2. Петровская Н.В. Самородное золото. – М.: Наука, 1973. – 347 с.
3. Фомин Ю.А. Юрьевское месторождение золота // Минерал. журн. – 1999. – Т. 21. № 4. – С. 32–44.
4. Белевцев А.Р. Изотопный возраст и условия локализации золотого оруденения в Кировоградском блоке Украинского щита: Автореф.° дис.°канд.° геол.° наук. – Киев, 2002. – 20 с.°
5. Яценко Г.М., Гайовський О.В., Сливко Є.М. та ін. Металогенія золота протоплатформних структур Українського щита (Кіровоградський блок). – К.: Логос, 2009. – 243 с.
6. Прохоров К.В., Глаголев А.А., Кузнецов А.В. Золотоносные метасоматиты Юрьевского рудопоявления центральной части Украинского щита // Отеч. геология. – 1994. – № 3. – С. 17–25.
7. Попівняк І.В., Ніколенко А.С., Пізніур А.В., та ін. Фізико-хімічні умови та послідовність формування руд Східно-Юрїївського родовища (за даними вивчення включень у мінералах) // Мінерал. зб. – 1995. – № 48. вип. 1. – С. 84–98.
8. Фомин Ю.А., Шестаков Ю.П., Заборовская Л.П., Лазаренко Е.Е., Бондаренко С.Н., Бондаренко И.Н. Рудные минералы Юрьевского месторождения золота (Украинский щит) // Минерал. журн. – 2003. – Т. 25. №4. – С. 101–108.
9. Заборовская Л.П., Фомин Ю.А., Монахов В.С., Горбунова С.Ф. Теллуридная минерализация на Юрьевском месторождении золота (Украинский щит) // Доп. НАН України. – 2002. – № 2. – С. 123–126.
10. размещения урановых месторождений Украины. – Киев: Наук. думка, 1995. – 396 с.
11. Геохронология раннего докембрия Украинского щита. Протерозой / Под ред. Н.П. Щербака° – Киев: Наукова думка, 2008. – 240 с.
12. Белевцев Я.Н., Коваль В.В., Бакаржиев А.Х. и др. Генетические типы и закономерности Фомин Ю.А., Заборовская Л.П., Кравчук З.Н. Геолого-генетическое сопоставление руд золота и урана Юрьевского месторождения Кировоградского мегаблока (Украинский щит) // Сб. науч.тр. Ин-та геохимии окружающей среды НАН Украины. – Вып. 25. – Киев, 2016. – С. 107–124.
13. Заборовская Л.П., Фомин Ю.А., Покалюк В.В., Сорокотяга О.И. Околорудный барий-калиевый метасоматоз на Юрьевском золоторудном месторождении (Украинский щит) // Матеріали міжнародної наукової конференції “Метасоматизм та рудоутворення” 5-7 жовтня 2016. – Київ, 2016. – С. 23–24.
14. Вольфсон А.А. Геолого–генетические особенности золото–кварцевого месторождения «Майское» (Северная Карелия). Диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого–минералогических наук. Москва, 2004. – 165с.

15. Руссу К.И., Андреева Е.Д., Ким А.У., Пузанков И.М., Шишканова К.О. Адуляр вулканогенных гидротермальных месторождений Камчатки // Матер. X регион. молод. научн. конф. «Природная среда Камчатки». – Петропавловск-Камчатский. – 12–13 апреля 2011. – С. 131–140.
16. Заборовская Л.П., Фомин Ю.А., Ярощук М.А. Типоморфные особенности самородного золота Юрьевского золоторудного месторождения (Украинский щит) // Матеріали X наукових читань імені академіка Є.К. Лазаренка, 9-11 вересня 2016. – Львів, 2016. – С. 36–37.
17. Петровская Н.В. О систематике минеральных ассоциаций, возникающих при гидротермальном рудообразовании // Геол. рудн. месторождений. – 1965. – № 1. – С. 3–13.
18. Ярощук М.А., Дудар Т.В., Заборовская Л.П. Золотосодержащая минерализация Майского рудопроявления Побужского района Украинского щита // Геол. журнал. – 1994. – №3. – С. 50–55.
19. Нечаев С.В., Есипчук К.Е., Шумлянський В.А., Лебедь Н.И., Третяков Ю.И. Металлические и неметаллические полезные ископаемые Украины. Том 1. Киев–Львов: Изд-во «Центр Европы», 2005. – 785 с.
20. Бобров О.Б., Сіворонов А.О., Гурський и др. Геолого-генетична типізація родовищ України. – Київ: УкрДГРІ, 2004. – 386 с.
21. Заборовская Л.П., Братчук О.Н., Заборовский В.С., Сорокотяга О.И., Фомин Ю.А. Вертикальная геохимическая зональность Губовского золоторудного рудопроявления (Кировоградский блок. Украинский щит) // Матеріали X Міжнародної наукової конференції «Моніторинг геологічних процесів та екологічного стану середовища». 17–20 жовтня 2012. – Київ, 2012. – С. 247–248.
22. Кобзарь В.Н., Казаков Л.Р. О роли литогенеза и метаморфизма при образовании минерализации золота в гнейсах центральной части Украинского щита // Геол. журнал. – 1992. – №4. – С. 100–110.
23. Снісар В.П., Калініченко А.М. Новий погляд на походження води в гидротермальних системах зон розломів // Доклады Академии наук Украины. – 1993. – №11. – С. 105–108.

REFERENCES

1. G. Yatsenko Mestorozhdeniya zolota v gneysovyh kompleksah dokembriya Ukrainskogo schita [Gold deposits in Precambrian gneiss complexes of the Ukrainian shield] / G.M. Yatsenko, A.K. Babynin, D.S. Gurskiy et al. – K.: Geoinform, 1998. – 256 s. [in Russian]
2. N. Petrovskaya Samorodnoe zoloto [Native gold] / N.V. Petrovskaya. – M.: Science, 1973. – 347s. [in Russian]
3. Yu. Fomin Vostochno-Yurievskoe mestorozhdenie zolota [East-Yurievskoe gold deposit] / Yu.A. Fomin – Mineral. Zhurn, 1999. – Vol. 21. – № 4. – S. 32–44. [in Russian]
4. A. Belevtsev Izotopnyy vozrast i usloviya lokalizatsii zolotogo rudneniya v Kirovogradskom bloke Ukrainskogo schita: Avtoref. dis.kand. geol. Nauk [The isotopic age and conditions of the localization of gold mineralization in the Kirovograd block of the Ukrainian Shield] / A.R. Belevtsev. – Kiev, 2002. – 20 s. [in Russian]
5. G. Yatsenko Metalogeniya zolota protoplatformnih struktur Ukrainskogo schita (Kirovogradskiy blok) [Metallogeny of gold of the protoplatform structures of the Ukrainian shield (Kirovogradsk megablock)] G.M. Yatsenko, O.V. Gayovskiy, E.M. Slivko et al. – K.: Logos, 2009. – 243 s. [in Russian]
6. K. Prohorov Zolotonosnye metasomatity Yurievskogo rudoproyavleniya centralnoy chasti Ukrainskogo schita [Gold-bearing metasomatic rocks of the Yurievskoe ore deposit of the central part of the Ukrainian Shield] / K.V. Prohorov, A.A. Glagolev, A.V. Kuznetsov. – Otechestvennaya geologiya, 1994. – № 3. – S. 17–25. [in Russian]
7. I. Popivniak Fiziko-himichni umovi ta poslidovnist formuvannya rud Shidno-Yuriivskogo rodovischa (za danimi vivchennya vklyuchen u mineralah) [Physico-chemical conditions and sequence of

- formation of ore of the East Yurievskoe ore deposit (according to the study of inclusions)] / I.B. Popivnyak, A.S. Nikolenko, A.V. Piznyur et al – Mineral. zbirnyk, 1995. – Vol. 1 – № 48. – S. 84-98. [in Ukrainian]
8. Yu. Fomin Rudnye mineraly Yurievskogo mestorozhdeniya zolota (Ukrainskiy schit) [Ore minerals of the Yurievskoe gold deposit (Ukrainian shield)] / Yu.A. Fomin, Yu.P. Shestakov, L.P. Zaborovskaya et al. – Mineral. Zhurn, 2003. – Vol. 25. – №4. – S. 101-108. [in Russian]
 9. L. Zaborovskaya Telluridnaya mineralizatsiya na Yurievskom mestorozhdenii zolota (Ukrainskiy schit)[Telluride mineralization in the Yurievskoye gold deposit (Ukrainian shield)] / L.P. Zaborovskaya, Yu.A. Fomin, V.S. Monahov, – Dopovidi. NAN Ukraini, 2002. – № 2. – S. 123-126. [in Russian]
 10. Ya. Belevtsev Geneticheskie tipy i zakonomernosti razmescheniya uranovykh mestorojdeniy Ukrainy [Genetic types and laws of distribution of uranium deposits in Ukraine] / Ya.N. Belevtsev, V.B. Koval, A.H. Bakarjiev et al. – K.: Naukova dumka, 1995. – 396 s. [in Russian]
 11. N. Shcherbak Geohronologiya rannego dokembriya Ukrainskogo schita. Proterozoy [Geochronology of the Early Precambrian of the Ukrainian Shield. Proterozoic] / N.P. Shcherbak, G.V. Artemenko, I.M. Lesnaya, A.N. Ponomarenko et al. – Kiev: Naukova dumka, 2008. – 240 s. [in Russian].
 12. Yu. Fomin Geologo-geneticheskoe sopostavlenie rud zolota i urana Yurevskogo mestorojdeniya Kirovogradskogo megabloka (Ukrainskiy schit) [Geological and genetic comparison of gold and uranium ores of the Yurievskoe deposit of the Kirovograd megablock (Ukrainian shield)] / Yu.A. Fomin, L.P. Zaborovskaya, Z.N. Kravchuk – Sbirnyk nauk.prats In-ta geohimii navkol. seredovyscha NAN Ukrainy. K., 2016. – Vol. 25. – s. 107-124. [in Russian]
 13. L. Zaborovskaya Okolorudnyy bariy-kalievyy metasomatoz na Yurievskom zolotorudnom mestorozhdenii (Ukrainskiy schit)[Near-ore barium-potassium metasomatism in the Yurievskoye gold deposit (Ukrainian shield)] / L.P. Zaborovskaya, Yu.A. Fomin, V.V. Pokalyuk, O.I. Sorokotiaga // “Metasomatizm ta rudoutvorennia”: Materialy mizhnarodnoy naukovo konferentsii, 5-7 zhovtnya 2016. K., 2016. – s. 23-24. [in Russian]
 14. A. Volfson Geologo-geneticheskie osobennosti zoloto-kvarcevoogo mestorojdeniya «Mayskoe» (Severnaya Kareliya): disser. kand. geol.-min. nauk [Geological and genetic features of Maiskoye gold-quartz deposit (North Karelia): thesis for the degree of geol.-min. sciences] / Volfson A. A. M., 2004. [in Russian]
 15. K. Russu Adulyar vulkanogennykh gidrotermalnykh mestorojdeniy Kamchatki [Adularia of the volcanogenic hydrothermal deposits of Kamchatka] / Russu K.I., Andreeva E.D., Kim A.U. et al // «Prirodnaya sreda Kamchatki»: Materialy X regionalnoy molodiozhnoy nauchnoy konferentsii, 12-13 aprelya 2011 g. – Petropavlovsk-Kamchatskiy, 2011. – S. 131-140. [in Russian]
 16. L. Zaborovskaya Tipomorfnye osobennosti samorodnogo zolota Yurevskogo zolotorudnogo mestorozhdeniya (Ukrainskiy schit) [Typomorphic features of native gold Tartu gold deposit (Ukrainian shield)] / Zaborovskaya L.P., Fomin Yu.A., Yaroschuk M.A. // Materialy 10 naukovih chitan imeni akademika E.K. Lazarenka, 9-11 veresnya 2016. – Lviv, 2016. – S. 36-37. [in Russian]
 17. N. Petrovskaya O sistematike mineralnykh assotsiatsiy, vznikayuschih pri gidrotermalnom rudoobrazovanii [On the taxonomy of the mineral associations occurring at hydrothermal mineralization] / Petrovskaya N.V – Geologiya rudnykh mestorozhdeniy. – 1965. – № 1. – S. 3-13. [in Russian]
 18. M. Yaroschuk Zolotosoderzhaschaya mineralizatsiya Mayskogo rudoproyavleniya Pobuzhskogo rayona Ukrainskogo schita [Gold-bearing mineralization in the Mayskoye ore deposit of the Pobuzhsky field of the Ukrainian shield] / Yaroschuk M.A., Dudar T.V., Zaborovskaya L.P. – Geologicheskii zhurnal – 1994. – №3. – S. 50-55. [in Russian]
 19. S. Nechaev Metallicheskie i nemetallicheskie poleznye iskopaemye Ukrainy. Tom1 [Metallic and nonmetallic mineral resources of Ukraine. Vol. 1] / Nechaev S.V., Esipchuk K.E., Shumlyanskiy V.A., et al.. Kiev–Lvov: Izd-vo «Centr Evropy», 2005. – 785 s. [in Russian]

20. O. Bobrov. Geologo-genetichna tipizatsiya rodovisch Ukraini [Geological and genetic typification of deposits in Ukraine] / Bobrov O.B., Sivoronov A.O., Gurskiy et al – K: UkrDGRI, 2004. – 386 s. [in Ukrainian]
21. L. Zaborovskaya Vertikanaya geohimicheskaya zonalnost Gubovskogo zolotorudnogo rudoproyavleniya (Kirovogradskiy blok, Ukrainskiy schit)[Vertical geochemical zonality of the Hubovskiy gold manifestation (Kyrovohradskiy unit, Ukrainian shield)] / Zaborovskaya L.P., Bratchuk O.N., Zaborovskiy V.S. // «Monitoring geologichnih protsesiv ta ekologichnogo stanu seredovischa»: Materialy X Mizhnarodnoi naukovoï konferentsii, 17-20 zhovtnya 2012 r. – Kyiv, 2012. – S. 247-248. [in Russian]
22. V. Kobzar O roli litogeneza i metamorfizma pri obrazovanii mineralizatsii zolota v gneysah centralnoy chasti Ukrainskogo schita [On the role of lithogenesis and metamorphism during the formation of gold mineralization in the gneisses of the central part of the Ukrainian shield] / Kobzar V.N., Kazakov L.R. – Geol. zhurnal. – 1992. - №4. – S. 100-110. [in Russian]
23. V. Snisar Noviy poglyad na pohodzhennya vodi v gidrotermalnih sistemah zon razlomiv [A new point of view origin on the origination of water in the zone hydrothermal systems of breaks] / Snisar V.P., Kalinichenko A.M. – Doklady Akademii nauk Ukrainy. – 1993. – №11. – S. 105-108. [in Ukrainian]

МІНЕРАЛОГО-ГЕОХІМІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ЗОЛОТОГО ЗРУДЕНІННЯ ЮР'ІВСЬКОГОРОДОВИЩА (УКРАЇНСЬКИЙ ЩИТ, ІНГУЛЬСЬКИЙ МЕГАБЛОК)

Заборовська Л. П., Фомін Ю. А., Покалюк В. В., Слівінський В.М.

Заборовська Л. П. м. н. с. ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», larisa-zaborovskaja@rambler.ru
Фомін Ю. А. канд. геол.-мін. наук, ст. н. с. ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», yaf1941@gmail.com
Покалюк В. В. докт. геол. наук, ст. н. с. ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», pyskan@ukr.net
Слівінський В.М. головний спеціаліст-програміст ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України»

Проведено детальне мінералого-геохімічне вивчення речовинного складу руд, навколорудних метасоматитів і вміщуючих породних комплексів Юр'ївського золоторудного родовища Українського щита. Визначено схему стадійності рудоутворення з виділенням у складі рудного етапу двох рудно-метасоматичних стадій, що відрізняються масштабом прояву, складом парагенетичних мінеральних асоціацій, характером метасоматичних перетворень, морфогенетичними особливостями рудних і метасоматичних мінералів, типоморфними властивостями золота – ранньої рудної (золотовмісної) з тонкодисперсним золотом і пізньої рудної (продуктивної) з видимим самородним золотом. Уточнено склад послідовних мінеральних парагенетичних асоціацій (МПА) рудного процесу. Уперше на родовищі виявлена телурідна мінералізація, яка визначена в якості найважливішого індикатора золоторудного процесу. Вивчено типоморфні мінералого-геохімічні особливості золота, інших парагенних рудних та нерудних мінералів. Встановлено «наскрізний» безперервно-дискретний характер виділення золота в рудному процесі (присутність в рудах трьох модифікацій самородного золота - низько-, середньо-і високопробного, з домінуванням високопробного). Виявлено зв'язок найбільших концентрацій золота із заключною стадією процесу рудоутворення, яка супроводжується низькотемпературним барій-калієвим метасоматозом – гумбеїтизацією. Типоморфний парагенезис гумбеїтів – барійвмісний калішпат, серицит, кальцит.

Ключові слова: золото, зруденіння, метасоматоз, гумбеїти, докембрій, Український щит, Інгульський мегаблок.

MINERALOGICAL AND GEOCHEMICAL FEATURES OF THE YURIEVSKOE GOLD DEPOSIT (THE UKRAINIAN SHIELD, INGUL MEGABLOCK)

L. Zaborovskaya, Yu. Fomin, V. Pokalyuk, V. Slivinskyi

L. Zaborovskaya Junior Researcher SI "Institute of Environmental Geochemistry of NAS of Ukraine», larisa-zaborovskaja@rambler.ru

Yu. Fomin Ph.D. (Geol.-Min.) Senior Researcher SI "Institute of Environmental Geochemistry of NAS of Ukraine», yaf1941@gmail.com

V. Pokalyuk D.Sc. (Geology), Senior Researcher SI "Institute of Environmental Geochemistry of NAS of Ukraine», pyskan@ukr.net

V. Slivinskyi Chief Specialist (Programming) SI "Institute of Environmental Geochemistry of NAS of Ukraine»

A detailed mineralogical and geochemical study of the material composition of ores, near-ore metasomatic rocks and host rock complexes of the Yurievskoe gold deposit (Ukrainian shield) with using methods of electron microscopy and microprobe research, is conducted. The ore process is divided in two ore-metasomatic stages, which differ from each other a scale, composition of paragenetic mineral associations, the nature of metasomatic transformations, morphogenetic features of ore and metasomatic minerals, as well as typomorphic properties of gold. Two mineral complex correspond to two ore-metasomatic stages: early (gold-bearing) mineral complex with finely divided gold («invisible gold») and later (productive) one with ultrafine native gold (visible gold). The composition of successive mineral parageneses of the ore process is defined. For the first time the telluride mineralization, which is one of the most important indicator of gold process, is find. It is established visible free gold associated with later pyrrhotite and chalcopyrite, tellurides and sulfotellurides of bismuth and lead, bismuthinite and native bismuth. «Through" continuous-discrete character for gold formation (there are three modifications of native gold – low-, medium- and high-grade, with the dominance of high-grade) is determined. The connection of the greatest concentrations of gold with the final stage of the process is denoted. Near-ore process is defined as low-temperature barium-potassium metasomatism (gumbeitization). Typomorphic paragenesis of the gumbeity in the Yurievskoe gold deposit is barium-containing potassium feldspar, sericite and calcite.

Keywords: gold mineralization, metasomatism, gumbeity, Precambrian, the Ukrainian Shield, Ingulskyi megablock.

УДК 551.248

НОВІТНЯ ТЕКТОНІКА ТЕРИТОРІЇ ДІБРОВСЬКОГО УРАН-ТОРІЙ-РІДКІСНОЗЕМЕЛЬНОГО РОДОВИЩА

Верховцев В. Г., Юськів Ю. В., Краснов Є. Б.

Верховцев В. Г. д. геол. н., зав. від. спеціальної металогенії ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України» verkhovtsev@ukr.net;

Юськів Ю. В. к. геол. н., с. н. с. ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України» yuskiv_yu@ukr.net;

Краснов Є. Б. м. н. с. ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України» yevhen.krasnov@gmail.com

Наведено результати великомасштабного (1:10 000) картування новітньої тектоніки в межах Дібровського U-Th-REE зруденіння, яке здійснено на основі морфоструктурних методів дослідження. На основі морфографічних, морфометричних методів та методичних прийомів картування побудована карта новітньої тектоніки території. Виділено та охарактеризовано активні на новітньому етапі розвитку лінійні структури, а також сумарні амплітуди вертикальних рухів в четвертинний час. Неотектонічні побудови є самостійним видом досліджень. Результати дослідження можна розглядати як спеціальні додаткові роботи для з'ясування особливостей тектонічної будови району розміщення Дібровського U-Th-REE родовища, зокрема активізації на новітньому етапі розвитку розломів більш давнього закладання. Лінеаментні зони знайшли своє відображення у наявних геолого-геофізичних матеріалах.

Ключові слова: неотектоніка, лінійні структури, лінеаментні зони, сумарні амплітуди вертикальний рухів, четвертинний час.

Вступ

За результатами пошукового оцінювання масштабів Дібровського U-Th-REE зруденіння (КП «Кіровгеологія», 2014) останнє кваліфіковане як родовище з відповідними перспективними ресурсами комплексних U-Th-REE руд в теригенних метаморфізованих породах – кварцитах, що являють собою древній ранньопротерозойський прибережно-морський розсип, сформований вздовж берегової лінії тодішнього мікроконтиненту та пізніше збагачений урановмісними мінералами (монацит, чераліт). Для уточнення особливостей тектонічної будови території розташування Дібровського U-Th-REE родовища, та з'ясування активності давніх розломів на новітньому етапі розвитку постає питання вивчення неотектоніки, а саме – неотектонічних досліджень.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є наукове обґрунтування застосування комплексу структурно-геоморфологічних методів для великомасштабного картування активних на новітньому етапі геоструктур території Дібровського уран-торій-рідкісноземельного родовища, розробка раціонального комплексу цих методів, безпосереднє проведення картування, детальне вивчення виявлених геоструктур.

Об'єкти та методи дослідження

Об'єктом дослідження є геологічне середовище району розташування Дібровського уран-торій-рідкісноземельного родовища. Предмет дослідження – новітні геоструктури території розташування цього родовища.

Для вирішення комплексу поставлених завдань застосовані такі спеціальні неотектонічні методи: морфоструктурний аналіз топооснови, який включає вивчення морфографічних і морфометричних особливостей рельєфу і зіставлення отриманих

результатів з апіорними геолого-геофізичними даними; морфографічний метод дирекційних напрямків і аномалій; морфометричний метод пошуку геоструктур, основи якого розробив В.П. Філософов (з доповненнями Верховцева В.Г.).

Результати досліджень та їх обговорення

За результатами пошукового оцінювання масштабів Дібровського U-Th-REE зруденіння (КП «Кіровгеологія», 2014) останнє кваліфіковане як родовище з відповідними перспективними ресурсами комплексних U-Th-REE руд в теригенних метаморфізованих породах – кварцитах, що являють собою древній ранньопротерозойський прибережно-морський розсип, сформований вздовж берегової лінії тодішнього мікроконтиненту та пізніше збагачений уранвмісними мінералами (монацит, чераліт).

Дібровське родовище розташоване в складному тектонічному вузлі перетинання і опірення субширотної (Девладівська) і діагональних (як правило, близьких до субмеридіональних) розломних зон північно-східного та північно-західного (Азовська) простягань (рис. 1-3).

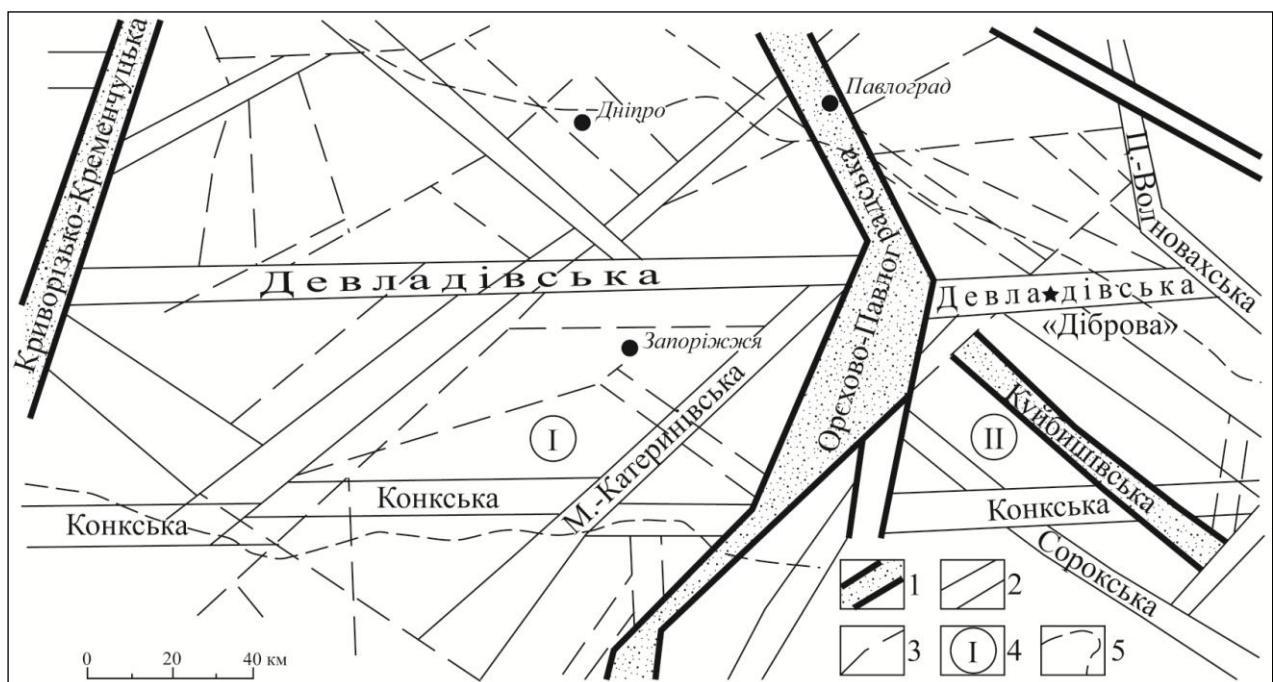


Рис. 1. Схема розміщення Дібровського уран-торій-рідкісноземельного родовища в межах Приазовського мегаблоку.

Використано фрагмент геофізичної основи тектонічної карти України масштабу 1:1 000 000: 1 – глибинні міжблокові зони розломів I рангу; 2 – глибинні мантіїно-корові внутрішньоблокові розломи II рангу; 3 – розломи інших рангів; 4 – мегаблоки: Середньопридніпровський (I) і Приазовський (II); 5 – межа Українського щита.

Східним відрізком Девладівського розлому, безумовно, була значно деформована Дібровська брахісинкліналь і виповнююча її товща порід з первинно сингенетично накопиченими уран-торієвими мінералами в теригенно-осадових відкладах дібровської нижньої підсвіти. В таких умовах інтенсивно формувались продукти динамометаморфізму: пористі і проникні зони катаклазу, тріщинуватості, тектонічного розсланцювання і будинажу з тонкими швами мілонітизації. Окрім цього, особливої уваги заслуговує флексурний перетин рудоносною товщею в районі профілю III^A, по якому, передбачається розрив суцільності рудних покладів [1-3].

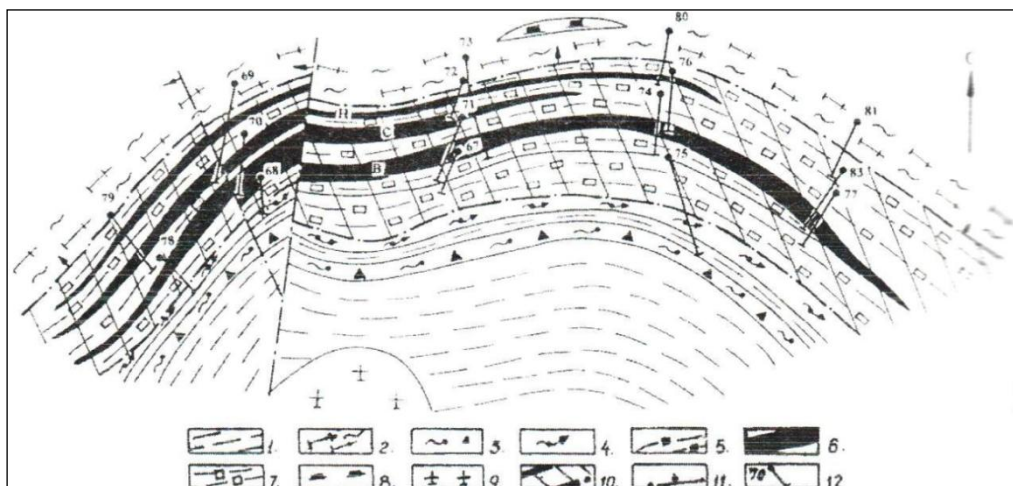


Рис. 2. Геологічна будова Дібровського уран-торій-рідкісноземельного родовища (план).
За матеріалами КП «Кіровгеологія», із змінами і доповненнями О.О. Крамара.

1 – гнейси біотитові та гранат-біотитові; 2 – мігматит-біотитові; 3 – сланці гранат-біотитові з магнетитом; 4 – сланці гранат-амфібол-біотитові; 5 – амфібол-магнетитові породи; 6 – урановорудні зони у кварцитах (Н – нижня, С – середня, В – верхня); 7 – кварцити силіманіт-біотитові, біотитові, гранат-біотитові, амфібол-біотитові, мусковітові, фукситові; 8 – амфіболіти; 9 – граніти; 10 – Головний Дібровський розлом; 11 – пострудні розломи високих порядків та напрямок їх падіння; 12 – глибокі свердловини, пробурені КП «Кіровгеологія».

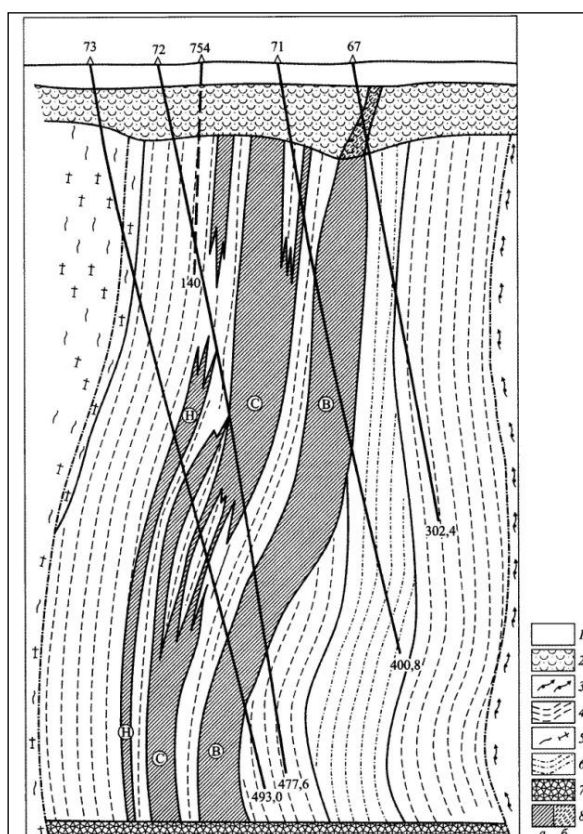


Рис. 3. Геологічна будова Дібровського родовища (розріз).
За матеріалами КП «Кіровгеологія», із змінами та доповненнями:

1 – породи осадового чохла; 2 – кора вивітрювання кристалічних порід; 3 – сланці амфібол-біотитові; 4 – кварцити апоконгломератові, апогравелітові та апопсамітові силіманіт-біотитові, силіманіт-мусковітові і

фукситові с польовими шпатами і піритом; 5 – мігматит біотитові; 6 – залізорудні породи гранат-кварц-амфібол-магнетитові; 7 – рудоконтролююча Дібровська гілка Девладівської зони розломів: тектонічно розсланцьовані і будиновані породи, бластомілоніти і мілоніти, брекчії і бластобрекчії, переважно мономіктні, катаклазити, бластокатаклазити та інтенсивно тріщинуваті породи; 8 – урановорудні зони (а) та їх продовження в корі вивітрювання (б); Н – нижня кора, С – середня, В – верхня.

З наведених карти і розрізу по профілях (див. рис. 2, 3) видно, що західний фланг родовища (від профілю ІІІ^А) припіднятий, порівняно зі східним флангом і уранове зруденіння в ньому значно менше (винесено). Цей розлом ще не доказаний, але ймовірність його існування досить велика, на що вказує і наявність в рельєфі великої балки субмеридіонального простягання, яка своїм верхів'ям проходить якраз вздовж профілю ІІІ^А і закінчується (на півночі від родовища) впадінням її під прямим кутом в русло притоку р. Вовча (біля західної околиці с. Підгаврилівка).

Виконані нами неотектонічні побудови є самостійним видом досліджень з відповідною кінцевою метою. В той же час їх можна розглядати як спеціальні додаткові роботи для з'ясування особливостей тектонічної будови району розміщення Дібровського U-Th-REE родовища, зокрема активізації на новітньому етапі розвитку розломів більш давнього закладання.

Для вирішення поставлених задач нами побудовані за морфометричним методом, розробленим В.П. Філософовим [4], та морфографічним методом дирекційних напрямків і аномалій [5] такі карти масштабу 1:10 000: порядків долин і вододілів; ландшафтних індикаторів лінійних структур; базисної та вершинної поверхонь 4-х порядків та різниці між ними; лінійних структур; сумарних амплітуд четвертинних вертикальних рухів земної поверхні (далі – сумарні амплітуди) та результуюча карта новітньої тектоніки (рис. 4). Нижче наведені терміни та результати роботи.

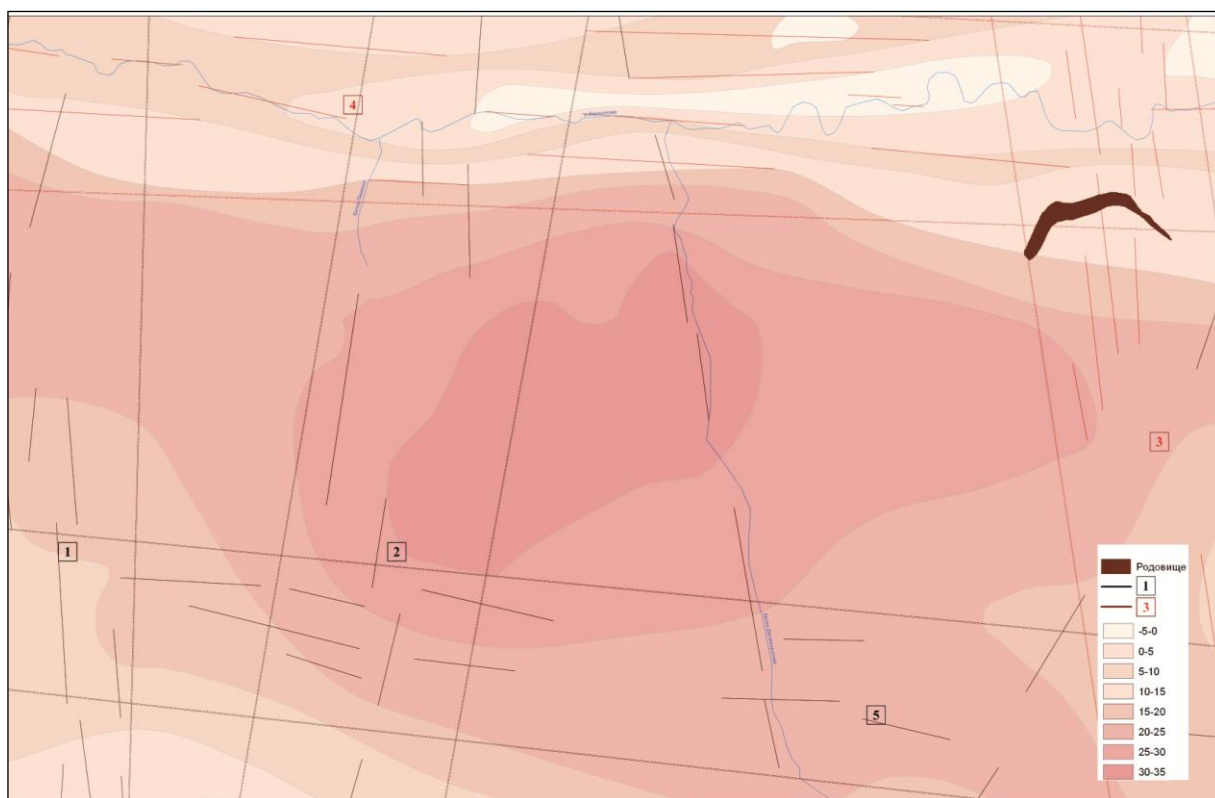


Рис. 4. Карта новітньої тектоніки території розташування Дібровського U-Th-РЕЕ родовища масштабу 1:10 000 (зменшено). Склали: Ю.В. Юськів, В.Г. Верховцев.

Неотектоніка – тектонічні рухи, порушення та зміни в рельєфі земної поверхні, які відбулися за час палеогенового та неогенового періодів і продовжувалися в четвертинний період. Розрізняють сучасні тектонічні рухи, які відбуваються тепер: новітні, або молоді, що мали місце в пізньому пліоцені і голоцені та неотектонічні, час проявлення яких тривав від початку олігоцену до голоцену, тобто близько 40 млн. років.

Лінеамент – це елементарна лінія зміни параметрів географічного, геологічного і геофізичного середовищ. Ними можуть бути розломи, зони підвищеної тріщинуватості, структурні неузгодження, стратиграфічні, літологічні або петрографічні межі, лінійні геофізичні аномалії, елементи рельєфу і інші компоненти ландшафту, в тому числі і не зв'язані з геологічними процесами. Лінеамент є своєрідною тріадою: 1) глибинна лінійна неоднорідність, 2) розлом (зону розломів) в твердих оболонках Землі та 3) лінійно організовані елементи ландшафту на поверхні.

Лінеаментна зона – це серія зближених між собою одно напрямлених одиночних лінеаментів, які утворюють одну зону. [5].

Картуванням активних на новітньому етапі розвитку геоструктур встановлені одиночні лінеаменти та їх зони (ЛЗ), детальне вивчення яких показало, що вони відображають, головним чином, різного порядку лінійні розривні структури.

За результатами неотектонічних досліджень в межах досліджуваної території виявлено 5 ЛЗ, які утворюють ортогональну систему, що складена субмеридіональними ($350-15^\circ$) та субширотними ($90-105^\circ$) ЛЗ, та поділені за рангом на регіональні і локальні. Лінеаментні зони знайшли своє відображення у наявних геолого-геофізичних матеріалах – ЛЗ № 3 співпадає Азовським розломом, а ЛЗ № 4 – з Девладівським розломом першого рангу (табл. 1).

Таблиця 1. Основні відомості про лінеаментні зони району розташування Дібровського U-Th-РЗЕ родовища

№ на рисунок	Ранг	Az ⁰	Д Ш, м	К	К _{ер.} К _{вод.}	Співпадання з відомим розломом	Передба- чуваний морфотип
				Д ₁ – Д ₂ , м			
1	Л* ²	356-0	11 000*	30	17	–	С-З
			1300-1400	200-1200	13		
2	Л* ²	10-25	11500*	13	5	–	П-З
			1400	500-2000	7		
3	Р* ²	350-355	10900*	20	9	+ Азовський	П-З
			1250-1300	260-1450	11		
4	Р* ²	90-95	10020*	15	8	++ Девладівський	С-З
			1200-1500	200-2200	7		
5	Л* ²	95-105	10700*	11	3	+ локальне порушення	П
			970-1100	450- 1170	8		

Примітка Ранг ЛЗ: Р – регіональна, Л – локальна; Az – генеральний напрямок простягання (в градусах); Д – довжина; Ш – ширина ЛЗ; К – кількість елементарних лінеаментів, що входять до складу ЛЗ; Д₁ – мінімальна; Д₂ – максимальна довжина цих лінеаментів; К_{ер.} – кількість ерозійних; К_{вод.} – кількість вододільних ландшафтних індикаторів лінеаментів; С – скид; П – підкид; З – здвиг; ++ – ЛЗ повністю співпадає з відомим розломом; + – теж, але частково (фрагментарно); – – ЛЗ не фіксується в показниках, що аналізуються; *¹ – ЛЗ виходить за межі досліджуваного району в одному напрямку; *² – теж, але в обох напрямках.

Сумарні амплітуди вертикальних четвертинних рухів земної кори. Для вирішення даної задачі була використана карта різниці між вершинною і базисною поверхнями 4-го порядку масштабу 1:10 000. Аналіз складеної карти сумарних амплітуд (рис. 4) відображає

те, що вони мають певну диференціацію і досить значну інтенсивність (максимальні значення перевищують +35 м, мінімальні значення є від'ємними (-5-0 м). Найбільш загальні закономірності прояву сумарних амплітуд погоджуються з контурами відомих та виявлених у регіоні порівняно великих структурних одиниць. Вздовж ЛЗ № 4 спостерігаються витягнуті в її напрямку ізолінії -5 м в площині р. Берестова. До вузлів перетинів з зонами № 2, 4 приурочені замкнуті аномалії +30-35 м. Загалом, лінійна протяжність ізобаз з аномально високими значеннями сумарних амплітуд та аномально низькими значеннями (у тому числі, і замкнутих) відмічається практично уздовж ЛЗ усіх напрямків (рис. 4).

На завершення слід зазначити, що всі інші, вже відомі, брахіскладки на Приазовському мегаблоці (Вовчанська, Зеленогайська, Загатівська, Куксунгурська, Куйбишевська, Петриківська, Уллянівська та інші), які за умовами їх будови і формування дуже подібні Дібровській і можливо є іншими частинами того ж древнього прибережно-морського рудоносного розсипу, безумовно, повинні бути вивчені і оцінені по аналогії з Дібровською брахіскладкою, в тому числі і неотектонічними методами.

Висновки

1. На основі морфографічних, морфометричних методів та методичних прийомів картування побудована карта новітньої тектоніки території розташування Дібровського U-Th-REE родовища масштабу 1:10 000.

2. В результаті картування активних на новітньому етапі розвитку геоструктур встановлені – лінеamenti та їх зони (ЛЗ). Детальне їх вивчення підтверджує, що перші відображають, головним чином, різного порядку лінійні розривні структури, а другі – об'ємно-площові неоднорідності тектоносфери.

3. Дослідження на рівні масштабу 1:10 000 дозволили виявити 5 ЛЗ, які утворюють які утворюють ортогональну систему, що складена субмеридіональними (350-15°) та субширотними (90-105°) ЛЗ, та поділені за рангом на регіональні і локальні. Лінеаментні зони знайшли своє відображення – ЛЗ № 3 співпадає Азовським розломом, а ЛЗ № 4 – з Девладівським розломом першого рангу.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Крамар О. О.* Дібровське родовище урану на Приазовському мегаблоці. Особливості будови, структурно-петрологічні умови локалізації та генезис / Крамар О.О., Кулібаба В.М. // Зб. наук. пр. Інституту геохімії навколишнього середовища НАН України. – Київ, 2008. – Вип. 16. – С. 37-50.
2. *Крамар О. О.* Геодинамическая обстановка, структурно-петрологические условия формирования и локализации Дибровского уран-ториевого рудопроявления / Крамар О.О. // Тез. докл. Междунар. науч.-практ. конф. «Особенности развития минерально-сырьевой базы урана Украины, его добыча и обогащение» (УРАН-2009). 15-17.09.2009. – Киев, 2009. – С. 70-75.
3. Перспективи розвитку уранової сировинної бази ядерної енергетики України / В.Г. Верховцев, Г.В. Лисиченко, Ю.Л. Забулонов та ін. – К.: Наук. думка, 2014. – 355 с.
4. *Философов В. П.* Основы морфометрического метода поисков тектонических структур. / Философов В.П. – Саратов: Изд-во Саратовск. ун-та, 1975. – 232 с.
5. *Верховцев В. Г.* Основні принципи складання карти новітньої тектоніки Українського щита та його схилів масштабу 1:500 000 за морфографічними, морфометричними і аерокосмічними даними: термінологія, методи та методичні прийоми, класифікаційні та інші аспекти дослідження / Верховцев В.Г., Юськів Ю.В. // Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист. – 2011. – Вип. 3. – С. 63-76.

REFERENCES

1. *O. Kramar* Dibrovske rodovyshe uranu na Pryazovskomu mehablotsi. Osoblyvosti budovy, strukturno-petrolohichni umovy lokalizatsii ta henezys / O.O. Kramar, V.M. Kulibaba // Zb. nauk. pr. Instytutu heokhimii navkolyshnoho seredovyscha NAN Ukrainy. – Kyiv, 2008. – Vyp. 16. – S. 37-50. [in Ukrainian]
2. *O. Kramar* Geodinamicheskaya obstanovka, strukturno-petrologicheskie usloviya formirovaniya i

- lokalizatsii Dibrovskogo uran-torievogo rudoproyavleniya / O.O. Kramar, V.M. Kulibaba // Tez. dokl. Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. «Osobennosti razvitiya mineralno-syrevooy bazyi urana Ukrainy, ego dobyicha i obogaschenie» (URAN-2009). 15-17.09.2009. – Kiev, 2009. – S. 70-75. [in Russian]
3. Perspektyvy rozvytku uranovoyi syrovynnoyi bazy yadernoyi enerhetyky Ukrayiny / V. Verkhovtsev, H. Lysychenko, Yu. Zabulonov ta in. – K.: Nauk. dumka, 2014. – 355 s. [in Ukrainian]
4. V. Filosofov Osnovy morfometricheskogo metoda poiskov tektonicheskikh struktur. / V.P. Filosofov – Saratov: Izd-vo Saratovsk. un-ta, 1975. – 232 s. [in Russian]
5. V. Verkhovtsev Osnovni pryntsypy skladannya karty novitn'oyi tektoniky Ukrayins'koho shchyta ta yoho skhyliv masshtabu 1:500 000 za morfografichnyimi, morfometrychnymi i aerokosmichnymi danymi: terminolohiya, metody ta metodychni pryomy, klasyfikatsiyi ta inshi aspekty doslidzhennya / V.H. Verkhovtsev, Yu.V. Yuskiv // Tekhnohenko-ekolohichna bezpeka ta tsyvil'nyy zakhyst. – 2011. – Vyp. 3. – S. 63-76. [in Ukrainian]

НОВЕЙШАЯ ТЕКТНИКА ТЕРРИТОРИИ ДИБРОВСКОГО УРАН-ТОРИЙ-РЕДКОЗЕМЕЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Верховцев В. Г., Юськів Ю. В., Краснов Е. Б.

Верховцев В. Г., д. геол. н., зав. отд. специальной металлогении ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины», verkhovtsev@ukr.net;

Юськів Ю. В., к. геол. н., н. с. ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины», yuskiv_yu@ukr.net;

Краснов Е. Б., м. н. с. ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины», yevhen.krasnov@gmail.com

Приведены результаты крупномасштабного (1:10 000) картирования новейшей тектоники в пределах Дибровского U-Th-REE месторождения, выполненного на основе морфоструктурных методов исследования. На основе морфографических, морфометрических методов и методических приемов картирования построена карта новейшей тектоники территории. Выделены и охарактеризованы активные на новейшем этапе развития линейные структуры, а также суммарные амплитуды вертикальных движений в четвертичное время. Неотектонические построения являются самостоятельным видом исследований. Результаты исследования можно рассматривать как специальные дополнительные работы для выяснения особенностей тектонического строения района размещения Дибровский U-Th-REE месторождения, в частности активизации на новейшем этапе развития разломов более древнего заложения. Линеаментные зоны нашли свое отражение в имеющихся геолого-геофизических материалах.

Ключевые слова: неотектоника, линейные структуры, линеаментные зоны, суммарные амплитуды вертикальных движений, позднеплиоцен-четвертичное время.

NEOTECTONICS OF THE TERRITORY OF DIBROVSKE URANIUM-RARE EARTH-THORIUM DEPOSIT.

V. Verkhovtsev, Yu. Yuskiv, E. Krasnov

V. Verkhovtsev, D.Sc. (Geol.), Head of Department special metallogeny SI "Institute of Environmental Geochemistry of NAS of Ukraine», verkhovtsev@ukr.net;

Yu. Yuskiv, Ph.D. (Geol.), Researcher, SI "Institute of Environmental Geochemistry, NAS of Ukraine», yuskiv_yu @ ukr.net;

E. Krasnov, Junior Researcher, SI "Institute of Environmental Geochemistry, NAS of Ukraine», yevhen.krasnov@gmail.com

The results of a large-scale (1:10 000) mapping of recent tectonics within Dibrovsk U-Th-REE deposit on the basis of morphostructural methods were identified. Active linear structures on the latest stage of development, and the amplitude of the vertical movements in the Quaternary period

were characterized. Neotectonic constructing is an independent research. Results of the study can be viewed as a special additional work to clarify the features of the tectonic structure of Dibrovske U-Th-REE deposits area and in activation on the latest stage of development faults. Lineament zone are reflected in geological and geophysical data.

Keywords: neotectonics, linear structures, lineament zone, the total amplitude of the vertical movement, the late Pliocene-Quaternary.

УДК 550.4:574.3

ОЦІНКА ПОТЕНЦІЙНОГО ВПЛИВУ ПІДЗЕМНИХ ВОД НА РАДІОЕКОЛОГІЧНУ СИТУАЦІЮ ПРИ РОЗРОБЦІ БІЛАНІВСЬКОГО ЗАЛІЗОРУДНОГО РОДОВИЩА

Крамар О. О., Краснов Є. Б., Тищенко О. Ю., Тищенко Ю. Є.

Краснов Є. Б. м. н. с. ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», yevhen.krasnov@gmail.com

Тищенко О. Ю. м. н. с. ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», froi@ukr.net

Тищенко Ю.Є. к. геол. н., с. н. с. ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», u-risk@ukr.net

Наведена оцінка потенційного впливу на радіоекологічну ситуацію у зоні запланованої розробки Біланівського кар'єру залізних руд, який очікується внаслідок надходження водним шляхом радіонуклідів з розташованого поряд Кременчуцького родовища урану. Результати отримані шляхом аналітичного опрацювання фондових матеріалів та даних власних досліджень. Території обох родовищ характеризуються інтенсивним розвитком розломно-блокової тектоніки кристалічних порід докембрію, зокрема, до одного з розломів приурочене і уранове зруденіння. Зони розломів є одночасно зонами активного водообміну. Встановлено, що існує водна міграція іонів з обводненої зони тріщинуватості кристалічних порід до вище залягаючих водоносних горизонтів. При розробці залізорудного родовища кар'єрним способом, яка супроводжуватиметься утворенням потужної депресивної воронки, зростання інтенсивності водообміну між гідрогеологічними горизонтами призведе до підвищених концентрацій радіонуклідів у кар'єрних водах. Таким чином, необхідне попереднє встановлення ймовірних масштабів очікуваного радіаційного забруднення підземних горизонтів.

Ключові слова: уран, радій, водоносні горизонти, тектоніка, розлом, кар'єр.

Вступ.

Заплановане до розробки відкритим (кар'єрним) способом Біланівське родовище залістистих кварцитів розташоване на першій та другій надзаплавних терасах Псла у водозборі його лівої притоки р. Рудька у південно-західній частині Полтавської області. В межах цієї території є землі сільськогосподарського призначення та сільські населені пункти. Поруч знаходиться Кременчуцьке уранове родовище, розробка якого, на цей час, не планується. Підземні водоносні горизонти забезпечують природний водний масоперенос між геологічними утвореннями даного району. Це обумовлює основні радіаційні ризики, які можуть створити загрозу радіоекологічного характеру при розробці кар'єру [1, 2]. Загроза може бути спричинена імовірним суттєвим посиленням водного виносу радіонуклідів у верхні водні горизонти та їх подальшим надходженням у стічні кар'єрні води, які будуть скидатися.

Таким чином, до початку розробки кар'єру необхідно встановити основні кількісні та якісні параметри (обсяги, інтенсивність надходження, активність, можливу подальшу трансформацію фізико-хімічних форм радіонуклідного складу) ймовірної міграції радіоактивно забруднених підземних вод.

Мета роботи – оцінювання впливу на кар'єрні води при розробці Біланівського родовища водної міграції радіонуклідів урану та радію з Кременчуцького родовища.

Об'єкт досліджень – геологічне і гідрогеологічне середовище території Біланівського залізорудного та Кременчуцького уранового родовищ.

Методи дослідження – радіохімічні, радіометричні, гідрогеологічні, геохімічні,

геоінформаційні.

Дослідження спрямоване на уточнення існуючих гідрогеологічних параметрів та прогноз водного виносу радіонуклідів, які можуть створювати потенційну радіоекологічну небезпеку.

Крім того, у подальших дослідженнях слід враховувати можливу трансформацію фізико-хімічних форм радіонуклідів уран-торієвого ряду в підземних водах внаслідок можливих змін умов геохімічного середовища (таких як іонна сила розчинів, рН середовища, окислювально-відновлювальні умови) [1].

Загальна геологічна характеристика.

У геоструктурному відношенні район належить до північно-східного схилу Українського щита. Виділяється ряд синклінальних і антиклінальних структур, а також розривні порушення. Синклінальні структури складені метаморфічними породами криворізької і конксько-верховцевської серій. Антиклінальні представлені, головним чином, плагіогранітами і мігматитами дніпровського та кіровоградсько-житомирського гранітоїдних комплексів [3, 4, 10].

У складі кайнозойських відкладів осадового чохла виділяються утворення палеогенової і четвертинної систем. Палеогенова система представлена відкладами бучацької, київської, харківської та обухівської світ [1, 2, 5-8]. Вони залягають майже горизонтально на поверхні докембрійських відкладів.

Розломна тектоніка регіону.

Широко розвинені складчасті і розривні структури Кременчуцького рудного району пов'язані з Криворізько-Кременчуцьким глибинним розломом [4, 9].

Тектонічні прояви пізнього протерозою призвели до порушення залягання порід докембрію, розблокування залізорудних покладів, а також прояву більш пізніх накладених процесів: окварцювання, окислення залізних руд, лужного метасоматозу, формування уранового зруденіння, гіпергенезу та ін. [3-5, 10].

Найбільшою плікативною структурою Кременчуцького рудного району, формування якої призвело до корінної зміни елементів первинного залягання осадово-метаморфічної товщі порід криворізької серії, є Галещинська синкліналь. Порооди залізисто-кремнистої формації зазнали широкого прояву дислокаційного метаморфізму, дрібної складчастості, розривів різних порядків, дрібної тріщинуватості і катаклазу. В результаті формування розривних порушень, що ускладнили геометрію самої Галещинської синкліналі разом з породами криворізької серії і гранітоїдами, утворилися Галещинський, Біланівський та інші розломи субмеридіонального напрямку і крупний Діагональний (Ревівський) розлом північно-східного простягання. Крім того, відомі ще й інші другорядні розривні порушення, головним чином, північно-східного напрямку. Є також розриви північно-західного і іноді субширотного простягання [4, 9].

Біланівське залізорудне родовище.

Криворізько-Кременчуцька металогенічна зона, до якої відноситься Біланівське родовище залізистих кварцитів, є складовою частиною залізорудної провінції України. Абсолютний вік порід криворізької серії, з якими пов'язане зруденіння, дорівнює 1700-2000 млн. років, а для нижньої світи – 2300-2700 млн. років. Переважає комплекс вулканогенних і залізисто-кремнієвих формацій, змінених ультраметаморфізмом і метасоматичними процесами [4, 6, 7].

Біланівське родовище залізистих кварцитів розташовано в межах Галещинської синкліналі, яка, в свою чергу, розділена Біланівською антиклінальною на дві синкліналі більш високого порядку. Загальне падіння порід західне, під кутами $15^{\circ} \dots 65^{\circ}$, місцями 75° .

В геологічній будові Біланівського родовища залізистих кварцитів приймають участь

докембрійські кристалічні утворення, перекриті чохлом кайнозойських осадових відкладів потужністю від 84,0 м в південній частині до 115,0 м в північній частині родовища. Нижній структурний ярус має складчасто-блокову будову [4, 7].

Кременчуцьку родовище урану.

Родовище знаходиться на території смт. Нова Галещина, Козельщанський район Полтавської області. Відстань від рудних покладів уранового родовища до землевідведення під Біланівський ГЗК менше одного кілометра. Ділянка уранового родовища має невеликі розміри: 500 м на 100 м.

Родовище приурочене до крупної Ревівської розломної зони, якою створено умови формування і локалізація уранового зруденіння. Північний відтинок цієї тектонічної структури має субмеридіональне простягання, яке на південь від уранового родовища змінюється на південно-західне і круто падає під Біланівське залізорудне родовище.

Рудні зони глибоко еродовані, тому збережений вертикальний розмах зруденіння коливається в межах 300-500 м. Тобто після довготривалої ерозії та пенепленізації Українського щита залишилися тільки незначна коренева частина цього палеопротерозойського за віком родовища. Практично всі рудні поклади виходять на еродовану поверхню докембрію і перекриті 100-120 м чохлом осадових порід третинного та четвертинного віку [3, 10].

Ревівський розлом віднесений до структур скидового типу і має північно-західне падіння під кутом до 68° , а амплітуда зміщення по ньому сягає не менше 300 м [3, 10]. Розломна зона має багатошовну будову. В окремих перетинах зони налічується від п'яти до шести субпаралельних розломів потужністю від перших до кількох десятків метрів. Міжшовні об'єми представлені тріщинуватими та катаклазованими породами, які характеризуються підвищеною пористістю та проникністю. Тектонічні шви представлені мілонітами, брекчіями, будинованими і тектонічно розсланцьованими породами. Повсюдно тектоніти поліхронні, що свідчить про багатоактний характер розвитку уранового родовища. Безпосередньо урановорудні поклади контролюються серією малопотужних розривів, що опірюють розлом і закладені субузгоджено в гетерогенній шаруватій товщі порід криворізької серії. При вивченні цих структур в межах рудних зон встановлено, що серія розривів має як скидові, так і здвигові амплітуди.

Уранова мінералізація на Кременчуцькому родовищі пов'язана з процесами лужно-карбонатного метасоматозу, окремінням, лімонітизацією. Руди сформувались в метасоматично змінених породах залізорудної формації. В результаті утворились егірініти, егіріно-карбонатні породи, альбітиту та ін. Ці метасоматити, поряд з роговиками, джеспілітами, частково сланцями, що їх вміщують, є основними ураноносними породами. Рудні зони безпосередньо контролюються пористими і проникними зонами розривних порушень: брекчіями, зонами дрібної тріщинуватості, катаклазу, будинажу та тектонічного розсланцювання. В деякій мірі структурний контроль зруденіння визначається і дрібними зонами зминання. Породи, що вміщують уранові руди, порушені сінрудною тектонікою, були не повністю заліковані в процесі метасоматозу і рудоутворення. В зв'язку з цим, а також в результаті пострудних тектонічних деформацій, в даний час і рудні зони, і породи, що їх вміщують, характеризуються підвищеною тріщинуватістю, пористістю і проникністю.

На родовищі виділяються дві головні зони уранового зруденіння – Основна та Південна [3]. Зруденіння Основної зони, головним чином, локалізоване в егірін-карбонатних і кремнисто-лімонітових породах, грубошаруватих магнетитових роговиках з прошарками окраскованих сланців, тонкосмугастих мартитових роговиках і хлоритових, рибекітизованих і окраскованих сланцях. Падіння Південної зони круте, західне, як і Основної, а зруденіння

переважно приурочене до грубошаруватих роговиків.

Загальна гідрогеологічна характеристика.

Згідно зі схемою гідрогеологічного районування території України, район досліджень розташований на південно-західній окраїні Дніпровсько-Донецького артезіанського басейну.

У контексті з геологічною будовою та гідрогеологічними умовами на описуваній території виділяються наступні водоносні горизонти [1, 2, 4, 7, 8]: алювіальних, харківських, бучацьких відкладів, а також - тріщинуватих докембрійських кристалічних порід.

Водоносний горизонт середньо-верхньочетвертинних алювіальних відкладів розвинутий в межах надзапальної тераси р. Псел. Порооди, що вміщують алювіальні підземні води, представлені дрібнозернистими, кварцовими сірими пісками і супісками. Покрівлею горизонту є одновікові суглинки, підшовою – харківські відклади. Глибина залягання покрівлі горизонту 4-8,5 м. Потужність порід алювіального водоносного горизонту 6,5-8 м. Горизонт безнапірний. Глибина статичного рівня 0,2-3,7 м. Продуктивність свердловин складає від 1,75-4,2 $\text{дм}^3/\text{с}$ при зниженні 1,1-3,14 м. Хімічний склад вод горизонту строкатий. Переважають хлоридно-сульфатно-гідрокарбонатні магнієво-кальцієво-натрієві, з вмістом сухого залишку 0,939-1,33 $\text{г}/\text{дм}^3$.

Водоносний горизонт харківських відкладів олігоцену розвинений повсюдно. Породами, що вміщують підземні води, є кварцово-глауконітові, дрібнозернисті, глинисті сірувато-зелені пісковики, які залягають прошарками серед глин і алевролітів. Глибина залягання водоносного горизонту 30-40 м. Потужність порід харківського водоносного горизонту 4,5-8 м. Водоносний горизонт слабонапірний. Величина напору складає до 30 м. Глибина статичного рівня води 0,7-4,5 м. Продуктивність свердловин складає 0,5-1,23 $\text{дм}^3/\text{с}$ при зниженні 16,75-38,57 м. Води горизонту з сухим залишком 2,42-6,46 $\text{г}/\text{дм}^3$. За хімічним складом вони є хлоридно-натрієві.

Водоносний горизонт бучацьких відкладів розвинений повсюдно. Породами, що вміщують підземні води, є дрібнозернисті глауконітово-кварцові, зеленувато-сірі, глинисті піски. Покрівлею горизонту є мергелі київської світи, підшовою кристалічні породи докембрію. Глибина покрівлі 61,4-83,5 м. Потужність порід бучацького водоносного горизонту 6-31,3 м. Горизонт напірний, величина напору досягає 73,8-81,2 м, статичний рівень встановлюється на глибині +1,2-11 м, дебіт свердловин 0,37-2,41 $\text{дм}^3/\text{с}$ при зниженні 10-61,3 м. За хімічним складом води горизонту – хлоридно-натрієві з вмістом сухого залишку 6,19-9,77 $\text{г}/\text{дм}^3$.

Відносно слабо вивченим залишається водоносний горизонт тріщинуватих докембрійських кристалічних порід. В той же час, при детальній розвідці, саме у цьому горизонті встановлено наявність урану і радію [4, 10].

Водоносність даного горизонту визначається ступенем тріщинуватості порід, станом тріщин, умовами живлення. Потужність верхньої, найбільш водозбагаченої, зони тріщинуватості складає 100-150 м, збільшується місцями до 200 і більше метрів. Горизонт напірний, величина напору від 55 до 115 м, але в більшості випадків не перевищує 80 м. Абсолютні відмітки п'єзометричних рівнів в північній частині родовища складають 68-69 м, а в південній – 65-66 м. Водозбагаченість тріщинуватої зони невисока: дебіт свердловин в гранітах не перевищує соті та навіть тисячні частки $\text{дм}^3/\text{с}$. Дебіт свердловин, що розкрили породи криворізької серії, змінюється від частин $\text{дм}^3/\text{с}$ до 1,25-6,99 $\text{дм}^3/\text{с}$ при пониженнях рівнів води відповідно 5,79 і 32,50 м. Основні гідрогеологічні параметри горизонту, за даними кущової відкачки склали: коефіцієнт водопроникності – 20,5 м/добу, коефіцієнт п'єзопровідності – $1,28 \cdot 10^4 \text{ м}^2/\text{добу}$, коефіцієнт фільтрації – до 0,07 м/добу. Рівневий режим горизонту характеризується плавними річними коливаннями: вплив кліматичних чинників помітний, але в значній мірі згладжений, річні амплітуди коливань змінюються від 0,16 до

0,74 м. У багаторічному розрізі простежується тенденція рівнів до зниження [8].

Особливості впливу Кременчуцького родовища урану на підземні води.

Як показано вище, за гідрогеологічними умовами як залізорудне, так і уранове родовища відзначаються досить великою складністю. Основний водоносний горизонт – бучацький – тісно пов'язаний з тріщинно-пластовими водами докембрійських порід.

При детальній розвідці Біланівського родовища було проведено визначення вмісту мікроелементів у підземних водах. Уран був виявлений у водах усіх водоносних горизонтів, але, якщо в алювіальному і харківському горизонтах – у одній, у бучацькому – у двох свердловинах, то у водах зони тріщинуватості докембрійських кристалічних порід – в 6 свердловинах. Вміст його коливається від $5 \cdot 10^{-7}$ до $9,75 \cdot 10^{-3}$ мг/дм³ [4, 10] (рис. 1).

Радій був виявлений у трьох свердловинах алювію і харківського горизонту, 14 – бучацького і 22 – кори тріщинуватості докембрійських кристалічних порід. Визначений вміст радію – $1 \cdot 10^{-10}$ – $1,6 \cdot 10^{-8}$ мг/дм³ [4, 10] (рис. 1).

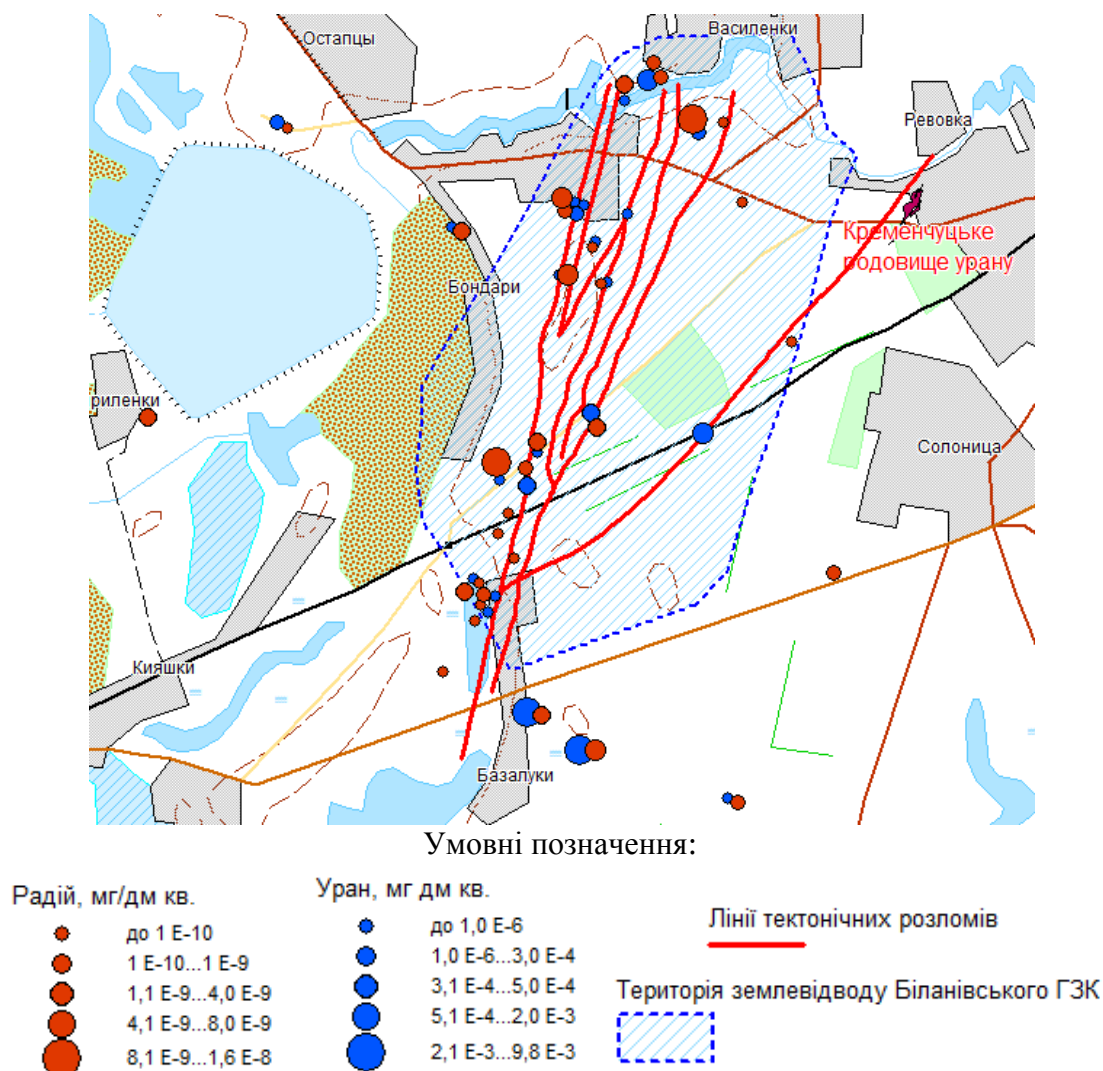


Рис. 1. Вміст урану та радію у підземних водах Біланівського залізорудного родовища за [4]

Встановлений нами під час натурних вишукувань [1, 2], вміст урану у воді поверхневих і підземних водних об'єктів території Біланівського залізорудного родовища складав від $9,08 \cdot 10^{-5}$ до $2,46 \cdot 10^{-3}$ мг/дм³.

Таким чином, присутність урану і радію у всіх водоносних горизонтах та поверхневих водах, ймовірно, показує, що депо радіоактивних елементів – Кременчуцьке уранове родовище – обводнене підземними водами безпосередньо пов'язаного з розломними

структурами водоносного горизонту тріщинуватих кристалічних порід докембрію.

Водночас, як очікується [8], під час експлуатації відкритим способом Біланівського родовища утвориться депресивна воронка, в бік якої буде відбуватися інтенсивний стік підземних вод, в тому числі по проникним структурам Діагонального розлому.

У гіпергенезі уранових руд, крім структурного фактору, визначальну роль відіграє їх мінеральний склад. На Кременчуцькому родовищі головними мінералами є оксиди урану: уранініт, настуран, гідронастуран [3, 10]. В підпорядкованій кількості виявлено вкраплені, прожилкові, прожилкові-вкраплені і тонковкраплені (сорбційні) гідросилікати урану. Вміст уранових чернів незначний, що є лімітуючим фактором при вилугуванні урану і перенесенні його підземними водами.

Висновки.

Загальною особливістю геолого-гідрогеологічних умов у межах району досліджень є поширення зон активних тектонічних розломів та підвищеної тріщинуватості кристалічних порід. Вплив блокових коливань земної кори на характеристики основних водоносних горизонтів, а особливо – на водоносний комплекс кристалічних порід докембрію, потенційно може спричиняти підвищені фільтраційні витрати підземних вод.

Проведений аналіз показує, що внаслідок цього, на території Біланівського родовища залізистих кварцитів підземні води всіх основних водоносних горизонтів зазнають радіаційного впливу Кременчуцького родовища урану завдяки водообміну в якому приймає участь нижній горизонт підземних вод кори вивітрювання кристалічних порід докембрію.

Така ситуація у майбутньому, при запланованій експлуатації Біланівського родовища та, пов'язаному з цим скиданні вод кар'єрного водовідливу, може мати негативний вплив на радіоекологічну ситуацію у зоні впливу Біланівського ГЗК.

Наявних на цей час матеріалів недостатньо для обґрунтованої оцінки кількісних та якісних показників очікуваної радіоактивності вод кар'єрного водовідливу, які будуть утворюватися при розробці Біланівського родовища за рахунок надходження до майбутнього кар'єру підземного стоку із зони кори вивітрювання, приуроченої до Ревівського розлому.

Найбільшого, до того ж запобіжного, ефекту було б досягнуто в результаті створення куца гідрогеологічних свердловин для ведення системних режимних спостережень, які перетнули б Ревівський розлом. Максимальна глибина чотирьох свердловин (по одній на кожному із водоносних горизонтів) визначається потужністю осадового чохла, тобто близько 100-120 м. При цьому найглибша з них повинна на 10-20 м ввійти у докембрійські породи. Варіанти можливого розміщення такого куца наведені нами на рис. 2.

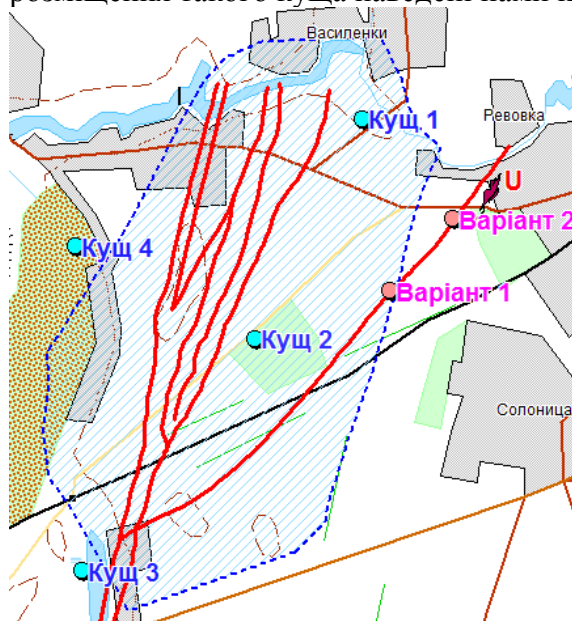


Рис. 2. Варіанти розміщення куца спостережних свердловин, який пропонується створити на Діагональному розломі в межах території Біланівського залізрудного та Кременчуцького уранового родовищ.

ЛІТЕРАТУРА

1. Звіт про НДР № 63/1 «Натурні радіоекологічні дослідження та оцінка ризиків, пов'язаних з радіаційною небезпекою при розробці Біланівського залізрудного родовища, Полтавська область» (заклучний). 2012. – 226 с.
2. Звіт про НДР № 7/2013 «Вивчення можливого впливу уранової мінералізації Кременчуцького рудопояву на формування природного радіаційного фону території Біланівського гірничо-збагачувального комбінату» (заклучний), – К.; ДУ «ІГНС НАН України», 2013, – 197 с.
3. Отчет по теме: «Сейсмическое микрорайонирование территории размещения хвостохранилища Белановского ГОКа» (заклучительный). 2012. – 56 с.
4. «Звіт про детальну розвідку Біланівського родовища залізистих кварцитів, виконану Кременчуцькою ГРЕ в 1975-1979 рр.». – в 23-х томах.
5. Геологічний звіт про геологічне довивчення та відбір напівпромислової технологічної проби з залізистих кварцитів Біланівського родовища. 2011. – 133 с.
6. ТЕО. Дослідно-промислова ділянка на Біланівському родовищі залізистих кварцитів для уточнення інженерно-геологічних характеристик розкривних порід і гідрогеологічних умов будівництва. ОВНС. – 72 с.
7. Розробка Біланівського родовища залізних руд. Техніко-економічне обґрунтування. Оцінка впливу на навколишнє середовище (ОВНС). Т. 1-2. 2012. – 494 с.
8. Закономерности образования и размещения урановых месторождений Украины / Отв. редактор Я.Н. Белевцев. – Киев: Изд-во АН УССР, 1968. – 763 с.
9. Железисто-кремнистые формации Украинского щита. Т. 2. Докембрий III / Отв. редактор Н. П. Семененко - Киев: Наук. думка, 1978. – 367 с.
10. Отчет о разведке Кременчугского месторождения урана за 1952-1955 годы. В 5-ти томах. Кировская экспедиция, партия № 25.

REFERENCES

1. Zvit pro NDR № 63/1 «Naturni radioekologichni doslidjennia ta otsinka ryzykiv, pov'iazanykh z radiatsijnoju nebezpecuju pry rozrobttsy Bilanivskogo zalizorudnogo rodovyshcha, Poltavaska oblast» (zakluchnyj) [«Natural radiogeoeological research and evaluation of risks related by radiation danger in the extraction of iron ore Bilanovo mining, Poltava oblast». The research scientific work report N63/1. 2012 (final)] – K.; DU «IGNS NAN Ukrainy», 2012. – 226 s. [in Ukrainian].
2. Zvit pro NDR № 7/2013 «Vyvchennia mojllyvogo vplyvu uranovoji mineralizatsii Kremenchuts'kogo rudoprojavu na formuvannia pryrodnogo radiatsijnogo fonu teritirii Bilanivskogo girnycho-zbagachuvalnogo kombinatu» (zakluchnyj), [“The study of the possible impact of Kremenchug uranium ore mineralization on the formation of natural background radiation of teritory of Bilanovo mining and processing plant” (final report)] – K.; DU «IGNS NAN Ukrainy», 2013, – 197 s [in Ukrainian].
3. Otchet po teme: «Sejsmicheskoe mikrorajonirovanie territorii razmeshchenija chvostochranilishcha Belanovskogo GOKa» (zakliuchitelnyj). [“Seismic micro zoning territory placing tailings of Belanovo MPP” (final report)] 2012. – 56 s [in Russian].
4. «Zvit pro detal'nu rozvidku Bilanivskogo rodovyshcha zalizystyh kvartsytyv, vykonanu Kremenchutskoju GRE v 1975-1979 rr.» [“Report on detailed exploration of deposits of ferruginous quartzite Bilanovo, it was done Kremenchug GSE (geological survey expedition) in the 1975-1979 years”] – 23 tomes. [in Ukrainian].
5. Geologichnyj zvit pro geologichne dovyyvchennia ta vidbir napivpromyslovoji tehnologichnoji proby z zalizystyh kvartsytyv Bilanivskogo rodovyshcha [Geological report on geological tostudy and selection of semiindustrial technological tests with Bilanovo ferruginous quartzite deposits] 2011. – 133 s. [in Ukrainian].
6. ТЕО. Doslidno-promyslova dilianka na Bilanivskomu rodovyshchi zalizystyh kvartsytyv dla utochnennia inzhenerno-geologichnyh harakrerystyk rozkryvnyh pored I gidrogeologichnyh umov budivnytstva [Feasibility Study. Research and industrial area on Bilanovo ferruginous quartzite deposit to refine the geological characteristics of the overburden rocks and hydrogeological conditions of construction] – 72 s. [in Ukrainian].
7. Rozrobka Bilanivskogo rodovyshcha zaliznyh rud. Tehniko-ekonomichne obgruntuvannia. Otsinka

- vplyvu na navkolyshnie seredovyshe (OVNS). [Extraction of Bilanovo iron ore deposits. Feasibility study. Environmental impact assessment (EIA)] Т. 1. 2012. – 494 s. [in Ukrainian].
8. Zakonomernosti obrazovaniya i razmiescheniya uranovyh mestorozhdenij Ukrainy [Laws of formation and distribution of uranium deposits in Ukraine] / Otv. Redactor Ja. N. Belevtsev – Kiev: Izd-vo AN USSR, 1968. – 763 s [in Russian].
 9. Zheliezisto-kriemnistyje formacii Ukrainского shchita [Ferruginous-siliceous formations of the Ukrainian shield] Т. 2. Dokembrij III / Otv. Redactor N. P. Semenenko – Kiev: Nauk. dumka, 1978. – 367 s [in Russian].
 10. Otchet o razvedkie Kriemienchugskogo mestorozhdenije urana za 1952-1955 gody [Report on the prospecting of Kremenchug uranium deposits for 1952-1955 years] V 5-ti tomah. Kirovskaja ekspedicija, partija № 25. [in Russian].

ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛЬНОГО ВЛИЯНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКУЮ СИТУАЦИЮ ПРИ РАЗРАБОТКЕ БЕЛАНОВСКОГО ЖЕЛЕЗОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Крамар О. А., Краснов Е. Б., Тищенко О. Ю., Тищенко Ю. Е.

Краснов Е. Б. м. н. с. ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины», yevhen.krasnov@gmail.com

Тищенко О. Ю. м. н. с. ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины», froi@ukr.net

Тищенко Ю. Е. к. геол. н., с. н. с. ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины», u-risk@ukr.net

Приведена оцінка потенціального впливу на радіоекологічну ситуацію в зоні запланованої розробки Белановського кар'єра залізних руд, який очікується внаслідок поступлення водним путем радіонуклідів із рядом розположеного Кременчугського родовища урану. Результати отримані шляхом аналітичної обробки фондових матеріалів і даних власних досліджень. Території обох родовищ характеризуються інтенсивним розвитком розломно-блокової тектоніки кристалічних порід докембрію, в частині, к одному з розломів приурочено і уранове орудення. Зони розломів являються одночасно зонами активного водообміну. Встановлено, що існує водна міграція іонів із обводненої зони тріщинистості кристалічних порід в залягаючі вище водоносні горизонти. При розробці залізничного родовища кар'єрним способом, яка буде супроводжуватися формуванням потужної депресивної воронки, збільшення інтенсивності водообміну між гідрогеологічними горизонтами приведе до підвищених концентрацій радіонуклідів в кар'єрних водах. Таким чином, необхідно попереднє встановлення вірогідних масштабів очікуваного забруднення підземних горизонтів.

Ключевые слова: уран, радий, водоносные горизонты, тектоника, разлом, карьер.

ASSESSMENT OF POTENTIAL IMPACT OF UNDERGROUND WATER ON RADIOLOGICAL SITUATION UNDER EXPLOITATION OF BILANOVSKOE IRON-ORE DEPOSIT

O. Kramar, E. Krasnov, O. Tyshchenko, Yu. Tyshchenko

E. Krasnov, Junior Researcher, SI «Institute of Environmental Geochemistry of NAS of Ukraine», yevhen.krasnov@gmail.com

O. Tyshchenko, Junior Researcher, SI «Institute of Environmental Geochemistry of NAS of Ukraine», froi@ukr.net

Yu. Tyshchenko, Ph.D. (Geology), Principal Researcher, SI «Institute of Environmental Geochemistry of NAS of Ukraine», u-risk@ukr.net

The estimation of the potential impact on the radiological situation in the area of the planned development of Bilanovskoe iron mining, which is expected due to arrival of radionuclides by water from the Kremenchug uranium deposit. The results are obtained by the analytical processing of source material and data of our research. The areas of both deposits is characterized by intensive

development of fault-block tectonics of Precambrian crystalline rocks, particularly, the uranium mineralization is confined to one of the fractures. The fractured fault zones are also zones of active water exchange. It is established that the water migration of ions from flooded fracturing zone of crystalline rocks to overlying aquifer, occurs. In the development of iron-ore deposit by pit-run way, which is accompanied by the formation of a powerful depressive funnel, increase in intensity of water exchange between hydrogeological horizons is likely to lead to raised concentrations of radionuclides in quarry waters. So, preliminary identification of the scale of expected pollution of groundwater horizons is necessary.

Keywords: *uranium, radium, aquifer, tectonics, fault, open pit.*

ІНФОРМАЦІЯ ДЛЯ АВТОРІВ

Збірника наукових праць Інституту геохімії навколишнього середовища

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 12-15 сторінок (разом з літературою, розширеними анотаціями) формату А-4, через 1,5 інтервали. Поля: всі – по 2 см, абзац – виступ на 1,27 см. Шрифт: Times New Roman, розмір – 12, 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, електронна адреса (розмір – 8).

Наприклад:

УДК 504.06 : 65.012.16 : 004.891

МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЕКСПЕРТНИХ МЕТОДІВ ТА СИСТЕМ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ В ЗОНАХ ВПЛИВУ АЕС

Попов О. О., Яцишин А. В., Артемчук В. О.

Попов О. О. канд. т. н., докторант, ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», sasha_popov1982@mail.ru.

Яцишин А. В. докт. т. н., пров. н. с., ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», andic@ua.fm.

Артемчук В. О. канд. т. н., докторант, Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г. Є. Пухова Національної академії наук України, ak24avo@gmail.com.

Далі – подають анотацію мовою статті на 100-250 слів (не менш ніж 10-12 рядків) зі стислим викладом матеріалу та ключові слова (5-10 слів, шрифт 12, курсив). Потім повторюють російською та англійською мовами анотації у більш розширеному вигляді та ключові слова; а також ті самі дані, що наведені на прикладі

Графічний матеріал – рисунки, ілюстрації, схеми, діаграми – усі умовні позначення на них мають бути чіткими та виразними. Підписи під ними, «**Рис. 1.**» напівжирним стандартним, (прямим), а назва звичайним шрифтом, не включаються у формат рисунка. Бажано надавати електронну версію ілюстрацій у *.tif або *.jpg.

Таблиці повинні бути компактними, мати назву, їх «шапка» повинна точно відповідати змісту граф, всі графи шапки повинні бути заповнені. Саме слово «**Таблиця 1.**» розміщують зліва напівжирним шрифтом, у цьому ж рядку далі назва таблиці – звичайним шрифтом. Примітки та виноски до таблиці необхідно друкувати безпосередньо під нею. Розмір шрифту тексту таблиць може бути зменшений (до 8–10 pt).

Одиниці вимірювання повинні подаватися в системі СІ. Скорочення вживаються загально прийняті. Спеціальні скорочення розшифровуються при першому наведенні у статті.

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.

У статті мають бути такі необхідні розділи, як **вступ** (постановка проблеми, актуальність обраної теми, аналіз останніх досліджень і публікацій, постановка мети і завдань), **виклад основного матеріалу за отриманими результатами і методів дослідження, висновки і перспективи подальших досліджень у цьому напрямі, список літературних посилань**. 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 (не більше як 15) у списку літератури розміщують в порядку цитування в тексті.

УВАГА! У зв'язку із включенням журналу до низки міжнародних бібліографічно-реферативних баз даних, список літератури має складатися з двох блоків: ЛІТЕРАТУРА і REFERENCES (ця вимога діє і для англійських статей). Назву «Література» і «References» даємо світлим, великими літерами. Прізвища авторів у джерелах виділяти світлим курсивом.

Збірник входить до Переліку наукових фахових видань України. Він представлений в інтернет-джерелах Національної бібліотеки України ім. В.І. Вернадського. У 2014 р. Збірник включений до бібліографічної бази даних наукових публікацій РІНЦ НЕБ (Російський індекс наукового цитування. З метою подальшого підвищення наукового рейтингу журналу та його дописувачів потрібно звернути увагу на таке:

1. Єдиним джерелом інформації щодо змісту статті для іноземних спеціалістів є анотація англійською мовою. Тому її обсяг повинен бути більшим за обсяг анотації українською якщо повний текст друкується тією самою мовою. Оскільки Збірник включений до бібліографічної бази даних НЕБ РІНЦ, анотація російською мовою також має бути розширеною. Обсяг анотації англійською мовою разом з назвою статті, ініціалами та прізвищами всіх авторів має містити мінімум 1000 знаків і не більше п'яти ключових слів.

Вимоги до анотацій англійською мовою такі: інформативність (відсутність загальних слів); змістовність (відображення основного змісту статті та результатів досліджень); застосування термінології, характерної для іноземних спеціальних текстів; єдність термінології в межах анотації; відсутність повторення відомостей, що містяться в заголовку статті.

Прізвища авторів статей подаються в одній з прийнятих міжнародних систем транслітерації (з української — відповідно до Постанови Кабінету Міністрів України № 55 від 27.01.2010 «Про впорядкування транслітерації українського алфавіту латиницею», з

російської — відповідно до «Системы транслитерации Библиотеки конгресса США»). Зазначення прізвища у різних системах транслітерації призводить до дублювання профілів (ідентифікаторів) автора в базі даних (профіль створюється автоматично в разі збігу його даних по двох публікаціях).

Для повного й коректного створення профілю автора дуже важливо наводити місце його роботи. Дані про публікації автора використовуються для одержання повної інформації щодо наукової діяльності організацій і в цілому країни. Застосування в статті офіційної, без скорочень, назви організації англійською мовою запобігатиме втраті статей у системі аналізу організацій та авторів. Бажано вказувати в назві організації її відомство за приналежністю.

2. В аналітичній системі РІНЦ НЕБ потрібно надавати пристатейні списки використаної літератури латиницею, що дає змогу за посиланнями оцінювати визнання робіт конкретних авторів, науковий рівень журналів, організацій і країн у цілому, визначати актуальність наукових напрямків і проблем. Стаття з представницьким списком літератури демонструє професійний кругозір та якісний рівень досліджень її авторів.

Правильне описання джерел, на які посилаються автори, є запорукою того, що цитовану публікацію буде враховано в процесі оцінювання наукової діяльності її авторів, а отже, й організації, регіону, країни. За цитуванням журналу визначається його науковий рівень, авторитетність тощо. Тому найважливішими складовими в бібліографічних посиланнях є прізвища авторів та назви журналів. В описання статті треба вносити всіх авторів, не скорочуючи їх кількості.

Для україно- та російськомовних статей з журналів, збірників, конференцій структура бібліографічного описання така:

автори (транслітерація), назва статті (транслітерація), переклад назви статті англійською мовою, назва джерела (транслітерація), вихідні дані, у квадратних дужках - мова оригіналу.

Список використаної літератури (REFERENCES) наводиться повністю окремим блоком, повторюючи список літератури до україно- та російськомовної частини незалежно від того, містяться в ньому чи ні іноземні джерела. Якщо в списку є посилання на іноземні публікації, вони повністю повторюються в списку, який створюється в латинському алфавіті.

Наприклад:

ЛІТЕРАТУРА

1. *Грабо́вецький Б. Є.* Методи експертних оцінок: теорія, методологія, напрямки використання : монографія / Б. Є. Грабо́вецький. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 171 с.
2. *Литвак Б. Г.* Экспертные технологии в управлении : учеб. пособие, 2-е изд. /Б. Г. Литвак. – М. : Изд. «Дело», 2004. – 400 с.
3. *Попов О. О.* Використання експертних методів в задачах екологічної безпеки навколишнього середовища / О. О. Попов // «Хімічна і радіаційна безпека: проблеми і рішення» : Матеріали другої міжнародної конференції, 27-30 травня 2014 р. – Ужгород, 2014. – С. 67-68.

REFERENCES

1. *B. Grabovec'kyj* Metody ekspertnyh ocinok: teoriya, metodologiya, naprjamky vykorystannja : monografija [Methods of expert assessments: Theory, Methodology, directions of use] / B. Je. Grabovec'kyj. – Vinnycja : VNTU, 2010. – 171 s. [in Russian]
2. *B. Litvak* Jekspertnye tehnologii v upravlenii : ucheb. posobie, 2-e uzd [Expert technologies in management] Study Guide, 2nd ed. / B. G. Litvak. – M. : Izd. «Delo», 2004. – 400 s. [in Russian]
3. *O. Popov* Vykorystannja ekspertnyh metodiv v zadachah ekologichnoi' bezpeky navkolyshn'ogo sereдовyshha [The use of expert methods in problems of ecological safety of the environment] / O. O. Popov // «Himichna i radiacijna bezpeka: problemy i rishennja» : Materialy drugoi' mizhnarodnoi' konferencii', 27-30 travnja 2014 r. – Uzhgorod, 2014. – S. 67-68. [in Ukrainian]

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.

- Статті розглядає редакційна колегія Збірника, рекомендує до друку вчена рада Інституту.

- Для більш об'єктивної оцінки наукового змісту статей може застосовуватися незалежне, конфіденційне рецензування (без зазначення прізвищ авторів і рецензентів).

- Редакційна колегія журналу залишає за собою право рецензувати, редагувати, скорочувати (без змін позицій авторів) та проводити відбір статей. Відхилені рукописи авторам не повертають.

- 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.

- Статті, в оформленні яких не дотримані наведені правила для публікації в Збірнику, повертаються авторам без розгляду по суті. Датою надходження вважається день повторного подання статті після дотримання вказаних вище правил.

- Стаття має бути підписана усіма авторами. Слід вказати прізвище, ім'я і по батькові автора, з яким редакція листуватиметься, його поштову адресу, номери телефону, факсу, адресу електронної пошти.

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

Матеріали у поданому надрукованому варіанті мають ілюструвати бажаний авторами вигляд статті, що буде враховуватись під час верстки збірника. Редколегія залишає за собою право вносити редакторські зміни у матеріал статей без узгодження з авторами за умови збереження змісту.

Коректура авторам надсилається по електронній пошті у вигляді PDF- файлу. На перевірку коректури авторам відводиться 5 робочих днів, починаючи з дня, що йде за датою відправки коректури. Після закінчення зазначеного терміну стаття автоматично спрямовується до друку. виправлення слід зазначити і прокоментувати в самому PDF-файлі або оформити у вигляді переліку виправлень (підписаного уповноваженим представником колективу авторів) і переслати по електронній пошті на адресу редакції.

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

Авторська довідка:

ПІБ автора повністю	Науковий ступінь, вчене звання	місце роботи, посада, повна поштова адреса місця роботи (з індексом)	поштова адреса для отримання авторського примірника або кореспонденції (поштовий індекс!)	Електронна адреса	Контактні номери телефонів автора (ів).
1					
2					
3					