

УДК 553.49:550.42

Yuri O. Fomin¹, PhD (Geology and Mineralogy), Associated Professor, Senior Researcher
ORCID ID 0000-0002-3043-8359 *e-mail*: yaf1941@gmail.com

Yuri M. Demikhov¹, PhD (Geology and Mineralogy), Senior Researcher
ORCID ID 0000-0002-3576-6570 *e-mail*: y_demikhov@ukr.net

Valentyn G. Verkhovtsev¹, D.S. (Geology), Senior Researcher
ORCID ID 0000-0002-1015-6725 *e-mail*: Verkhovtsev@ukr.net

Tamara V. Dudar², PhD (Geology and Mineralogy), Associated Professor, Senior Researcher
ORCID ID 0000-0003-3114-9732 *e-mail*: tamadudar@ukr.net

Natalya N. Borisova¹, Leading Engineer
ORCID ID 0000-0002-7169-1430 *e-mail*: IGNS_Borysova@nas.gov.ua

Zinaida N. Kravchuk¹, Leading Engineer
ORCID ID 0000-0002-6093-488X *e-mail*: IGNS_Kravchuk@nas.gov.ua

¹State Institution «Institute of Environmental Geochemistry of NAS of Ukraine», Kyiv, Ukraine

²National Aviation University, Kyiv, Ukraine

PATHFINDER ELEMENTS OF URANIUM MINERALIZATION FROM ALBITITE FORMATION OF THE UKRAINIAN SHIELD AND THEIR IMPACT ON THE ENVIRONMENT

***Abstract.** The uranium ore albitites were studied emphasizing the regularities of concentration and dissemination of various elements in the process of formation and destruction of deposits for this formation. The elements typification was made with the following groups identified: radioactive, siderophilic, chalcophilic, rare elements, rare earth elements, and elements-mineralizes. Their impact on the environment was considered. Almost all known uranium deposits of the albitite formation of the Ingulskiy megablock of the Ukrainian Shield have always been considered as mono-elemental, exclusively uranium associations. However, gold, bismuth mineralization, as well as associated with monazite thorium, are found in commercial quantities within albitites deposits. These components could have been of a related commercial value. Enhancing amount of vanadium, strontium, lead and some other elements are also often met. In the process of uranium mining all mentioned elements, including uranium, are followed into refuse heaps and tailings. Taking into account geological and geochemical conditions, the region of albitites deposits development is seemed to be favorable for formation of near surface uranium and pathfinder elements concentrations. The uranium mining tailings enriched in uranium and heavy metals are being stored within the sanitary zones of operating mines and considered as to be favorable for oxidation and decomposition under the conditions of hypergenesis. The mentioned processes can last for an indefinite time taking into account mineral composition of loose deposits, climate changes, and fluctuations in the level of groundwater in the region. And, if natural secondary concentrations of uranium and its pathfinder elements can be considered as mineral resources, then dissemination of these elements in waters, soils and biological objects is likely to be attributed to very harmful processes. At the same*

time, the removal of heavy metals by atmospheric waters is absolutely predictable, with their subsequent migration into the groundwater system, gradual penetration into soils and biological objects, which undoubtedly carries a potential threat to the environment.

Key words: *Ukrainian Shield; uranium mining; albitite formation; uranium and its pathfinder elements; heavy metals; hazard category; environmental impact*

Ю.О. Фомін¹, Ю.М. Деміхов¹, В.Г. Верховцев¹, Т.В. Дудар², Н.М. Борисова¹, З.М. Кравчук¹

¹Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», м. Київ, Україна

²Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна

ЕЛЕМЕНТИ-СУПУТНИКИ УРАНОВОГО ЗРУДЕНІННЯ АЛЬБІТИТОВОЇ ФОРМАЦІЇ УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА ТА ЇХ ВПЛИВ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ

Анотація. *Вивчено урановорудні альбітити з висвітленням закономірностей концентрації і розсіювання різних елементів в процесі формування і руйнації родовищ цієї формації, проведено типізацію цих елементів з виділенням наступних груп: радіоактивні, сидерофільні, халькофільні, рідкісні, рідкоземельні та елементи-мінералізатори, а також розглянуто їх вплив на забруднення довкілля. Практично всі відомі поклади урану альбітитової формації Інгульського мегаблоку Українського щита завжди розглядались як моноелементні, виключно уранові об'єкти. Проте в зонах альбітитів нерідко концентруються в близьких до промислових кількостях: золото, вісмутова мінералізація, а також пов'язаний з монацитом торій. Вказані компоненти могли б мати супутнє промислове значення. Із інших систематично підвищених домішок можна назвати ванадій, стронцій, свинець та інші. Всі перераховані елементи, включно уран, йдуть у відвали та хвостосховища. З урахуванням геолого-геохімічних характеристик альбітитових родовищ, регіон здається перспективним для формування молодих поверхневих концентрацій урану і елементів-супутників. Відходи промислової розробки уранових родовищ альбітитової формації, які були (і будуть) складовані, являють собою подрібнений мінеральний концентрат, збагачений ураном та важкими металами, який в умовах гіпергенних процесів сприятливий для окислювання і розкладання. Враховуючи особливості складу пухких відкладень, кліматичні зміни і коливання рівня ґрунтових вод регіону, можливе розтягнення вказаних процесів на невизначений час. І якщо природні вторинні концентрації урану і його супутників можуть розглядатись як корисні копалини, то розсіювання цих же металів у водах, ґрунтах і біологічних об'єктах скоріш за все слід віднести до дуже шкідливих процесів. При цьому абсолютно прогнозованим є винос атмосферними водами важких металів, з їх подальшою міграцією у систему підземних вод, поступовим проникненням у ґрунти і біологічні об'єкти, що, без сумніву, несе потенційну загрозу забруднення навколишнього середовища.*

Ключові слова: *Український щит; уранове зруденіння; альбітитова формація; елементи-супутники урану; важкі метали; клас небезпечності; вплив на навколишнє середовище*

Вступ

Практично всі відомі поклади альбітитової формації Інгульського мегаблоку Українського щита (УЩ) завжди розглядались (і продовжують розглядатись) як моноелементні, тобто виключно уранові об'єкти [1–3]. Проте, як це видно з таблиці 2, до майже виключно уранового можна віднести хіба що Мічурінське родовище. Решта вивчених об'єктів, крім урану, містять в собі підвищені, аж до промислових, концентрації інших металів. Наведений у таблицях 1 і 2 матеріал дає достатнє уявлення відносно геохімічних особливостей родовищ цієї формації.

Важливо підкреслити, що накопичення елементів виникало у складі різних речовинних комплексів (і асоціацій) мінералоутворюючої системи вміщуючих порід (едикту) – колорудних натрієво-карбонатних метасоматитів (альбітитів) – уранових руд. Причому, аж ніяк не обов'язково у промислових рудах, саме які ідуть на переробку, на відміну від решти мінеральної маси, утворюючої відвали відпрацьованих (зруйнованих людиною) ділянок родовищ. Іншою не менш важливою специфікою досліджених родовищ є їх природне руйнування внаслідок процесів вивітрювання (для УЩ – це каолінітовий тип) і ерозії.

Поведінка урану і інших елементів, як в умовах довгої діяльності природних екзогенних факторів, так і в промислових відвалах, визначається різними факторами [4, 5]. Звичайно, перш за все, це ступінь стійкості вміщуючих їх мінералів до вивітрювання і геохімічні особливості, частково міграційна здатність самих елементів у природних (підземних і поверхневих) водах в сукупності із здатністю їх до осаджування на різних геохімічних бар'єрах. Подальша участь ореолів (і потоків) розсіювання тих чи інших елементів (і їх асоціацій) в залежності від геодинаміки району може бути різною. Хоча значною мірою вона залежить і від відношення до неї людини: джерелом чого стануть такі вторинні концентрації – істотної додаткової кількості легко видобувних урану та інших металів або шкідливих хімічних речовин, забруднюючих навколишнє середовище [3].

Об'єкти дослідження

В основному всі виявлені родовища уранових альбітитів (принаймні більшість з них) зосереджені в межах трьох тектоно-метасоматичних зон, які відрізняються просторовим положенням відносно внутрішньоблокових гранітно-купольних структур, розташованих в центральній частині Інгульської мегаструктури і складених гранітоїдними масивами новоукраїнського і кіровоградського комплексів, а також (на північ) Корсунь-Новомиргородським плутоном складної будови. Названі нижче родовища, як представники цих зон, досліджувалися безпосередньо нами, саме матеріал по них покладено в основу розробки.

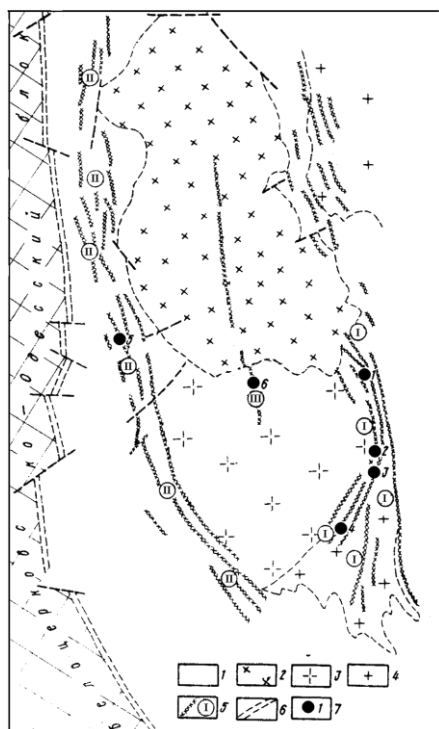


Рис. 1 – Схема розташування тектоно-метасоматичних зон і родовищ урану альбітитової ураново-рудної формації відносно гранітно-купольних структур Інгульського мегаблоку УЩ. Геологічна основа за О.М. Комаровим, Л.О. Черкашиним [6].

1. Граніто-мігматито-гнейсова товща.
2. Коростенський плутон: граніти рапаківі, анортозити.
3. Новоукраїнський масив: граніти.
4. Кіровоградський комплекс: суттєво біотитові граніти.
5. Тектоно-метасоматичні зони:

- I. Кіровоградська.
- II. Звенігородсько-Ганівська.
- III. Новокосянтинівська.

6. Глибинний розлом, що розділяє Інгульський і Білоцерківсько-Одеський блоки Українського щита.
7. Родовища урану: Северинівське (1); Мічуринське (2); Північно-Коноплянське (3); Юріївське (4); Ватутинське (5); Новокосянтинівське (6).

Виклад матеріалу дослідження

Розглянемо альбітити, що вміщують уранове зруденіння, з точки зору прикладної геохімії, а саме з висвітленням закономірностей концентрації і розсіювання різних елементів в процесі формування і руйнації родовищ цієї формації [7, 8]. Поряд з головним корисним металом (ураном), розглянуті елементи, які, згідно з наявними даними, можуть в складі тих чи інших мінеральних асоціацій у рамках вивчених об'єктів концентруватися у підвищених, аж до промислових значень, кількостях. Інакше кажучи, елементи, віднесені у ході експлуатації родовищ до промислових відходів, але здатні також у результаті діяльності гіпергенних факторів формувати значні за своїми масштабами вторинні ореоли розсіювання. Тому дуже важливою уявляється інформація про екологічну небезпечність вивчених елементів, а саме їх відношення до того чи іншого класу небезпечності згідно з ГДК (гранично допустимі концентрації). Згідно з наказом Міністерства з надзвичайних ситуацій України № 627 від 22.03.2012 «Про затвердження Вимог до роботодавців щодо захисту працівників від шкідливого впливу хімічних речовин», за класом небезпечності більшість з елементів відноситься до 1–2 класів, тобто надзвичайно небезпечних та високо небезпечних речовин. Зокрема, до першого класу небезпечності відносяться берилій, а також один з головних супутників урану – ванадій; до другого класу – стронцій, кобальт, вісмут. Взагалі, всі перераховані у таблиці 1 елементи можуть нести (хоча і в різній мірі) екологічну загрозу.

Для зручності подальшого опису вивчених елементів проведено їх типізацію з виділенням наступних груп: 1) радіоактивні елементи;

2) сидерофільні елементи; 3) халькофільні елементи; 4) рідкісні та рідкоземельні елементи; 5) елементи мінералізаторів.

1. Радіоактивні елементи. Перш за все це уран і торій. Судячи з таблиці 2, вивчені родовища досить чітко розділяються на дві групи, а саме на уранові і торій-уранові. До першої групи відноситься, як вже відмічено вище, Мічуринське родовище з найнижчим вмістом торію, кількість якого тут не перевищує перші г/т, що дозволило Ю.П. Єгорову [2] віднести уранові руди родовища до безторієвих. Але на флангах Мічуринського родовища (Північно-Коноплянська дільниця) він помітно підвищується, особливо в забалансових рудах, безрудних альбітитах і вміщуючих породах (в середньому 24,6–25,1 до 64 г/т), залишаючись низьким (в середньому 9,5 не вище 19 г/т), в альбітитах рудних. Також підвищеним є вміст торію в межах Северинівського родовища – до 71,0 г/т.

Таблиця 1 – Деякі геохімічні параметри урану і елементів-супутників в уранових родовищах альбітитої формації Українського щита

Елемент	концентрація в альбітитах, варіації (г/т)	кларк [3], (г/т)	мінімальний промисловий вміст у рудах (г/т)	середній вміст в океані (мг/л)	середній вміст у річках (мг/л)	вміст в живих організмах (г/т)	клас небезпечності згідно з ГДК
U	0,4-11128	2,5	300	0,003	0,001	0,013-0,038	1
Th	0,5-200	13	100	0,00001	0,00002	0,003-0,2	1
Ra	0,00028	-		$1 \cdot 10^{-10}$			
V	5-1000	90	100-1000	0,003	0,0001	0,14-2,0	1-2
Ni	4-1000	58	2000	0,002	0,005	0,4-25	2-3
Co	5-100	18	150-370	0,0005		0,03-5,0	2
Cr	5-3000	83		0,00002	0,001	0,075-1,0	2-3
Pb	5-5500, до 1%	16	1%	0,00003	0,001	0,5-8,4	1-2
Zn	0-500, до 1%	83	2%	0,01		6-1500	3
Cu	3-70	47	3000	0,003		2,4-50	2-3
Bi	15, до 0,8-1,3%	0,009	0,2-0,3%	0,0002		0,004-0,3	2
Mo	0,4-50	1,1	100	0,01	0,00084	0,2-2,5	2
Ba	5-500, до 3200	650		0,02		0,2-30	3
Sr	1-1000, до 1626	340		8,0	0,1	14-500	2
Be	1-50	3,8	30-400	0,0000006	0,0006	0,0003-0,1	1
Zr	4-600	170		0,00005	0,0026	0,1-20	3

До торій-уранових впевнено можна віднести Юріївське, Ватутінське і Новокосятинівське родовища з вмістом торію на рівні мінімально промислового, або навіть вище – 100 і більше г/т. Найвищі концентрації торію (до 200 г/т) зафіксовані на Новокосятинівському родовищі.

Таблиця 2 – Геохімічна характеристика уранових родовищ Інгульського мегаблоку Українського щита

Хімічні елементи	Родовища урану альбітизованої формації					
	Северинівське	Мічуринське	Коноплянське	Юріївське	Ватутинське	Новокосянтинівське
	Вміст елементів у г/т					
U	1-11128	5-1670	1-2041	1-3506	3-5140	0,4-4470
Th	5,0-71,0	0,5-4,3	1,0-64,0	1,0-122,8	6,0-101,0	5,2-200,0
V	40-1000	12-54	50-300	5-200	40-800	21-73
Ni	30-1000	4,0-12,0	6-100	10-200	30-1000	8,0-11,0
Cr	200-2000	6-38	30-500	5-150	200-3000	18-21
Pb	8-2000	5-810	1-1116	6-1247	18-2995	20-1130
Zn	0-500	-	0-100	0-200	0-200	34-54
Mo	1-50	-	0,5-1	0,5-40	0,5-50	0,4-0,9
Sr	1-1000	36-161	3-300	25-1626	1-300	210-730
Be	3-50	1-46	0-20	-	0-30	3,0-4,5
Zr	5-600	22-291	5-481	4-300	18-490	190-433

У вміщуючих породах, до яких віднесені породи едукту, як незмінні, так і мікроклінізовані і діафторовані, кількість урану варіює від перших г/т до 40–53 г/т; такий вміст часто вже на порядок і більше перевищує фоновий для порід метатеригенної формації УЩ [9]. В альбітизованих породах і безрудних альбітитах зовнішніх часток рудних зон вміст урану в середньому по об'єктах зростає в 1,3–4,3 раза.

В якості бортового вмісту прийнята концентрація урану в 300 г/т (0,03%). Найбільш високим його вмістом (в середньому по об'єктах 0,08–0,24%, в окремих зразках до 0,5–1,11%) характеризуються альбітити з накладеними продуктивними мінеральними асоціаціями, включаючи ферібіотит, анкерит, гематит і мінерали урану.

Контрастність руд (співвідношення середнього вмісту урану у рудах і вміщуючих породах) за нашими даними змінюється від 77–84 (родовища Юріївське і Мічуринське) до 115–130 (Північно-Коноплянське і Ватутинське), досягає 302–376 (Новокосянтинівське і Северинівське). Згідно з розрахунками Ю.П. Єгорова [2], за ступенем концентрації урану ($K.K.U = 72$) руди Мічуринського родовища відносяться до числа рядових. Можна передбачити, таким чином, що альбітити з непромисловим вмістом урану (20–300 г/т) опиняться у відвалах із великою ймовірністю негативних екологічних наслідків.

Крім двох головних радіоактивних елементів, аналітика також фіксує присутність тут радія. Оцінити порядок вмісту радія в альбітизованих рудах можна на прикладі Мічуринського родовища. В основу цієї оцінки покладено опробування, яке проведено КП «Кіровогеологія» у гірничих виробках, де, за даними Ю.П. Єгорова [2], середній вміст Ra в рудах складає $2,8 \cdot 10^{-4}$ г/т.

Більш важливою здається поведінка радію у природних водах, особливо, на наш подив, виявлена кореляція урану та радію з дейтерієм, що дуже відрізняється. Якщо для урану він незначний і негативний ($r_{U-D} = -0,14$), то для радію він позитивний і значущий з дуже високим значенням коефіцієнта кореляції ($r_{Ra-D} = +0,77$). Безумовно, взаємозв'язок між дейтерієм і радієм (дочірнім продуктом урану) в природних водах уранових родовищ взагалі і

родовищ альбітитової формації зокрема вимагає ретельної перевірки, після якої цілком може розглядатися як локальна пошукова ознака уранового зруденіння. Отримані результати, навіть за певної обмеженості матеріалу, підтверджують відоме положення [10] про роздільну геохімічну долю U та Ra в урановорудних районах. У водних ореолах розсіювання Ra навколо уранових родовищ знаходиться ближче до руд, тоді як U мігрує істотно далі.

2. Сидерофільні елементи. Крім заліза, до цієї групи віднесені ванадій, нікель, кобальт, хром.

Найбільш розповсюджене залізо, яке знаходиться у двох- і трьохвалентній формі. Важливим генетичним параметром при цьому у рудній системі є так званий окисно-відновлювальний індекс, саме відношення $Fe_2O_3:FeO$ [11]. У вивчених родовищах це відношення досягає максимальних значень на рівні руд (2,64–3,34), знижуючись до 0,15–1,40 у вміщуючих породах. Локалізація уранового зруденіння визначається потенціальною можливістю окислення заліза залізовміщуючих мінералів у складі альбітитів, а інтенсивність рудоутворення знаходиться у прямому зв'язку зі ступенем окислення заліза. Тим підтверджується генетичний зв'язок покладів урану з окисно-відновними геохімічними бар'єрами. З урахуванням приуроченості альбітитових родовищ до крутопадаючих глибинних зон проблема оцінки їх перспектив пов'язана з виявленням рівнів максимального накопичення в них урану (максимальної продуктивності), а також рівнів ерозійного зрізу (ступеня збереженості зон).

Ванадій має особливу роль, бо цілком може розглядатись в якості постійного супутника урану, пов'язаного з ним спільністю походження, тобто генетично. Закономірностей в розподілі ванадію при порівнянні вивчених родовищ не виявлено. Для Ватутінського родовища встановлено збільшення вмісту елемента в системі: рудовміщуючі породи – альбітити – руди і одночасно найбільш високі середні концентрації в некондиційних і промислових рудах. Породи і руди Мічурінського і Новокостянтинівського родовищ, судячи з середніх значень у вибірках, відрізняються найбільш низькою ванадієносністю з деяким її збільшенням від вміщуючих порід до альбітитів і в подальшому до непромислових руд, при зниженні у рудних альбітитах. Схожа закономірність характерна і для Северинівського родовища, при тому, що кількість ванадію у всіх складових цього переходу тут істотно вища. На Північно-Коноплянській ділянці Мічурінського рудного поля в середньому найбільш висока концентрація ванадію встановлена в промислових рудах.

Рядовим для рудовміщуючих порід і руд альбітитових родовищ урану є вміст ванадію (г/т) від 40–60 до 100–300, рідше відмічаються концентрації 400–500 і вище. При цьому аномально висока (до 800–1000) ванадієносність на рівні промислових значень встановлена в безрудних і слаборудних альбітитах, тобто в альбітитах із забалансовим вмістом урану, які ідуть у відвали з усіма негативними екологічними та економічними наслідками. Наведені кількості (особливо по Ватутінському родовищу) близькі до кількісних оцінок ванадієносності комплексних U-V-Sc руд Жовторіченського родовища, а також зон натрієвого метасоматозу, розвинутих по породах криворізької серії в районі цього родовища і Ганівського кар'єру, де вони також можуть мати промислове значення.

Нікель і кобальт. За вмістом нікелю вивчені родовища розподіляються на дві групи: вміщуючі нікель в завищених кількостях і практично позбавлені його.

До першої групи відносяться Северинівське і Ватутінське родовища, у межах яких концентрація нікелю у рудовміщуючих породах, альбітитах і уранових рудах в середньому в 3–5,5 разів перевищує кларк. На обох родовищах дещо більш високим вмістом елементу характеризуються породи едукту, альбітизовані їх різновиди і безрудні альбітити. Тенденція деякого зниження нікеленості в продуктивних альбітитах (слаборудних і рудних) більш чітко проявлена на Ватутінському родовищі, слабкіше на Северинівському. На обох об'єктах в окремих зразках у складі рудовміщуючої товщі, а також безрудних метасоматитів концентрація нікелю досягає 1000 г/т, наближуючись до мінімальної промислової для нікелієвих руд.

Вміст кобальту в породах і рудній масі родовищ першої групи відносно завищений (5–50, до 100 г/т). На Северинівському родовищі він в середньому близький до кларкового: у вміщуючих породах – 19,4; в альбітитах – 19,0; у слаборудних альбітитах – 18,0; у рудах перевищує кларк – 26,5 (всюди в г/т). На Ватутінському родовищі кількість його (також г/т) нижче кларку, причому збільшується від едукту до руд: 8,6 – 5,7 – 11,3 відповідно.

В родовищах, що належать до другої групи, вміст нікелю суттєво нижче кларку: в середньому від 30–40 (Північно-Коноплянська дільниця і, можливо, Юріївське родовище) до 4,0–12,0 г/т (Новокостянтинівське і Мічуринське родовища). Вміст кобальту в них близько до порогу чутливості спектрального аналізу чи навіть нижче його. Виключенням є гнейсова товща Юріївського рудного поля, де кількість кобальту практично у всіх зразках значна (2–50, в середньому 12,1 г/т).

Хром. В основі хромоносності урановорудних альбітитів, можливо, лежить первинна концентрація хрому у вміщуючих породах. Найменшим (нижче кларка) вмістом елементу характеризуються Мічуринське і Новокостянтинівське родовища, де у всіх типах порід і руд він знаходиться на рівні чутливості спектрального аналізу. В межах Юріївського рудного поля і Північно-Коноплянської ділянки кількість хрому в середньому близька до кларкового.

Найбільш висока концентрація хрому (вище кларка) встановлена для Ватутінського і Северинівського родовищ. На обох об'єктах достатньо чітко виявлена тенденція її зниження від вміщуючих порід (в середньому 1125–1347, всюди в г/т) до альбітизованих порід і безрудних альбітитів (905–1063) і далі до альбітитів з непромисловим вмістом урану (733–1031) і промислових руд (524–773). Зразки з аномально високими значеннями (1000–3000 г/т) зустрічаються у всіх зонах рудоутворюючих систем, але в більшій мірі у вміщуючих породах. Таким чином, промислові відвали на різних об'єктах будуть характеризуватись вмістом хрому від $n \cdot 10$ до $n \cdot 1000$ г/т, тобто, в деяких випадках, більше ніж на порядок перевищувати кларк.

3. Халькофільні елементи. З числа елементів з високою спорідненістю із сіркою вивчені свинець, цинк, мідь, вісмут, молібден.

Розподіл свинцю в альбітитових родовищах вкрай нерівномірний. Ця нерівномірність починається з рудовміщуючих порід. Процес альбітизації і наступного уранового рудоутворення супроводжувався систематичним

(синхронно з ураном) збільшенням відносно рівноважної концентрацій радіогенного свинцю.

Про розподіл свинцю в породах і рудах можна судити по найбільш вивченому Мічурінському родовищу [2], де первинний свинець у рудах практично відсутній: при середньому вмісту Pb 200 г/т доля ізотопу Pb²⁰⁴ дорівнює 0,6%. Співвідношення радіогенних ізотопів свинцю в рудах (горизонт -33 м) складає (%): Pb²⁰⁶ 83,7; Pb²⁰⁷ 10,7; Pb²⁰⁸ 5,0. В безрудних альбітитах кількість свинцю одна із самих низьких (16 г/т).

Північно-Коноплянська ділянка, яка фактично представляє південне продовження Мічурінського родовища, навпаки, характеризується чи не самим високим вмістом елементу як у вміщуючих породах, особливо в діафоритах (до 240 г/т), так і в рудах (до 100–1116 г/т). Рудопрояр Обгінне (північний фланг Мічурінського поля [1]) також виділяється високою концентрацією Pb, яка в багатих уранових рудах досягає 2%, тобто є промислово значимою; у вміщуючих породах вона на порядок вища фоновій (0,02%).

В цілому по наявності Pb (первинного свинцю) у вміщуючих породах вивчені об'єкти можна віднести до двох груп. В першу групу увійдуть Північно-Коноплянське, Ватутінське і Северинівське родовища, де вміст елементу при нерівномірності його розповсюдження нерідко досягає значень 100 г/т і більше. Родовища першої групи відрізняються також і завищеним вмістом геохімічного супутника свинцю – Zn (в середньому 100–121, до 300–500 г/т). До другої групи відносяться власне Мічурінське, Юрїївське і Новокостянтинівське родовища. Судячи з наявних даних, кількість Pb (г/т) тут систематично вище кларкового, але не більше 50–60. Треба відмітити також стабільно завищений відносно кларку (в 1,5–3,8 раза) вміст свинцю в новоукраїнських гранітах Новокостянтинівського родовища: в середньому 37,2. Разом з тим, в рудах і рудовміщуючих породах Новокостянтинівського родовища зафіксована найменша кількість Zn (в середньому 34–54 г/т).

В альбітитах всіх родовищ концентрація свинцю систематично збільшується пропорційно ураноносності, досягаючи максимуму в уранових рудах: в середньому від 195 г/т на Мічурінському родовищі до 957 на Ватутінському. Відхилення від цієї тенденції мають місце практично всюди. Так, наприклад, судячи з наших даних, на Північно-Коноплянській ділянці найбільшою кількістю свинцю (120–3389, в середньому 800 г/т) характеризуються слабкорудні альбітити, призначені для відвалів. В окремих зразках альбітитів з непромисловим ураном на вивчених об'єктах встановлено 810–5500 г/т Pb. На Северинівському родовищі концентрація Pb в безрудних альбітитах місцями (горизонт 620 м) досягає 1%, тобто промислових значень для свинцевих руд (+1% Zn і до 10 г/т Ag). Для порівняння: максимум свинцю в промислових рудах урану складає 575–2350 г/т. Відносно цинку тенденція, судячи з Северинівського і Ватутінського родовищ, протилежна свинцю – кількісне зниження його від вміщуючих порід до руд майже вдвічі.

Ще один халькофільний елемент – Cu, з котрим Pb і Zn часто асоціюють і який (як і ці два) відноситься до елементів дуже токсичних, розподілений в уранових рудах і вміщуючих породах вивчених об'єктів відносно рівномірно. Вміст Cu в середньому по вибірках складає 6–32 г/т. Максимальна концентрація міді встановлена для Новокостянтинівського і Північно-Коноплянського родовищ. Так, в породах останнього звичайними є концентрації Cu 50–70 г/т.

Наведена інформація досить переконливо демонструє високу вірогідність накопичення в промислових відходах свинцю, а також цинку і міді.

Відносно вісмуту: значима кількість цього елемента встановлена на північних флангах Мічурінського родовища (рудопрояр Обгінний), а також в межах золоторудної частини Юрїївського рудного поля. Рудопрояр Обгінний [2] представлений багатою Ві-U мінералізацією, локалізованою в межах Кіровоградського розлому і не пов'язаною безпосередньо з альбітитами. Вміст вісмуту в рудах цього прояву промислово значущий – 0,8–1,3%, у вмшчующих породах – 0,0015%, тобто на 2 порядки вище кларкового.

Молибден. Розподіл молибдену у вивчених об'єктах дуже нерівномірний. Найбільш низький його вміст (< 1 г/т, інакше кажучи, на грані чутливості методу) встановлений на Новокостянтинівському і Північно-Коноплянському родовищах; для Мічурінського родовища дані по молибдену відсутні. Породи і руди Ватутінського і, в меншій мірі, Юрїївського родовищ відрізняються підвищеним середнім вмістом елемента. Але в більшості проаналізованих зразків Ватутінського (і Юрїївського) родовищ вміст молибдену також не перевищує перші г/т, лише епізодично підвищуючись до 10–50 г/т. На Ватутінському родовищі, зокрема, це зразки деяких мікроклінових і олігоклазових гранітів типу Березовських і, іноді, мікрогранодіоритів Головного розлому.

Северинівське родовище є своєрідним винятком, тут підвищена концентрація молибдену (10–30 г/т) є звичайною, а в одиничних зразках вона досягає 60–100 г/т, тобто наближається до мінімальних промислових значень. Детальніше: у складі діафоритової і альбітитої з піритом асоціацій Северинівського родовища молибден в значних кількостях присутній завжди, хоча вміст його (г/т) варіює в широких межах: від 3–10 до 20–60. В ділянках розвитку епігенетичного кварцового парагенезису без очевидних сульфідів кількість молибдену також підвищена (18,4 г/т). Зокрема на ділянці з розвитком кварц-анкеритового з піритом, галенітом, сфалеритом і халькопіритом парагенезису на Северинівському родовищі (горизонт 620 м) зафіксована найбільш висока концентрація Мо (до 50–100 г/т), а також Ag (до 10 г/т), Pb (до 1%), Zn (до 1%). Саме для цього родовища (а також для Ватутінського) намічається тенденція зниження концентрації Мо від вмшчующих порід і безрудних альбітитів до зруденілих альбітитів і особливо промислових руд. При експлуатації таких об'єктів, таким чином, найбільш молибденоносні породи ідуть (підуть) у відвали.

4. Рідкісні та рідкоземельні елементи (РЗЕ). У складі цієї групи елементів розглянуті цирконій, берилій і лантаніди.

Розподіл цирконію у більшості альбітитових родовищ підпорядковується загальним закономірностям. На Северинівському, Північно-Коноплянському і Мічурінському родовищах концентрація елемента (г/т) суттєво зростає від вмшчующих порід зовнішніх зон, включаючи альбітизовані їх різновиди і безрудні альбітити (22–135), до слаборудних (130–184) і, особливо, рудних (218–294) альбітитів внутрішніх зон.

Така ж тенденція виявлена на Новокостянтинівському родовищі, з тією різницею, що саме на цьому родовищі в середньому фіксується найбільш висока концентрація цирконію (г/т) у вмшчующих новоукраїнських гранітах (190), а також альбітитах (205–212), непромислових (268–372) і промислових (433) рудах.

В межах Ватутінського родовища кількість Zr в середньому однаково підвищена як в породах гнейсо-мігматито-гранітного едукту (155 г/т), так і в альбітитах, причому більш за все в безрудних (252 г/т). Важливо відзначити, крім того, наявність тут високих концентрацій цього елемента, пов'язаних з так званим Малаконовим розломом (також не вміщуючим уранову мінералізацію). По вмісту цирконію у вміщуючих породах з Ватутінським родовищем можна порівняти Юріївське рудне поле, де цим елементом збагачені гнейси.

Вибіркові хімічні аналізи, в цілому, підтверджують виявлені тенденції, а саме: відносно витримана в підвищених значеннях кількість ZrO_2 у всіх складових Ватутінського родовища і послідовне збільшення його концентрацій аж до 0,103% в уранових рудах, що відповідає мінімальному промислового вмісту для руд цирконію. Максимум ZrO_2 встановлено в дайках фенітизованих діабазів – 0,108–0,145 г/т.

Розподіл берилію в рудній масі вивчених об'єктів, судячи з даних спектрального аналізу, нерівномірний. Для Северинівського родовища його кількість змінюється від 6,2–8,6 у вміщуючих породах до 8,0–11,6 г/т в альбітитових рудах (в середньому по вибірках), при загальному діапазоні 3–50 г/т і систематичній присутності. Для Мічурінського родовища цей діапазон складає від 1–2 у вміщуючих породах до 5–46 г/т в альбітитових рудах; за іншими даними – в альбітитових рудах в середньому по 100 пробах – 0,004% (40 г/т). Тобто на Мічурінському родовищі (як і на Северинівському) Be відноситься до елементів, характерних для U-рудного процесу [1]. На рудопроводі Обгінне (північний фланг Мічурінського поля) в Bi-U утвореннях, не пов'язаних з альбітитами, вміст Be аномально високий – 0,01% (100 г/т), тобто досягає стійких промислових значень, але у вміщуючих породах він у 2-3 рази нижче фонового [2]. Північно-Коноплянське родовище (південний фланг Мічурінського поля): при нерівномірному розподілу берилію (від кількості нижче порогу чутливості методу до 10–20 г/т в одиничних зразках) в середньому самий високий вміст встановлено у вміщуючих породах – 9,6 г/т; в альбітитах, незалежно від їх ураноносності, концентрація Be визначена як 4,2–5,2 г/т. На Ватутінському родовищі вміст берилію при несистематичній присутності дорівнює 6–30 г/т в альбітитах і альбітитових рудах. Новокостянтинівське родовище (за даними І.Б. Гаврусевича, О.В. Пушкарева, 1985) характеризується найнижчим вмістом берилію в альбітитах, включаючи рудні – в середньому по вибірках 3,0–4,5 г/т.

В цілому, на всіх вивчених родовищах вміст берилію в уранових рудах перевищує фоновий в гранітах і близький до промислових концентрацій у власне берилієвих рудах. Для порівняння: кількість берилію в гранітоїдах Корсунь-Новомиргородського масиву різних фаз становлення в середньому складає 2,5–3,0 г/т [6]; мінімальний же вміст BeO у грейзенових і альбітитових родовищах – 0,003–0,04% (30–400 г/т) [3].

Оцінку розподілу рідкісноземельних елементів (РЗЕ) наведено за опублікованими даними [12–15]. Стосовно вміщуючих порід: у гнейсах інгуло-інгулецької серії та гранітоїдах кіровоградського комплексу кількість РЗЕ (г/т) складає у середньому по вибірках 153–289; у гранітоїдах новоукраїнського комплексу вона дещо вища 194–686 (максимальна у жильних аплітах). При цьому новоукраїнські граніти за сумою РЗЕ генетично порівняні з кіровоградськими гранітоїдами. Взагалі, для вміщуючих порід матаморфогенної тріади (гнейси – мігматити – граніти) Інгульського

мегаблоку характерне домінування легких лантаноїдів при дефіциті важких їх складових та підвищення від гнейсів до кіровоградських гранітів ступеня їх диференціації, а також до гранітоїдів обох комплексів збільшення Се складової. Цю особливість успадкували і ураноносні альбітита. У альбітитах вміст РЗЕ або близький до їх вмісту в породах едукту (Северинівське, Ватутінське родовища, 160–360 г/т), або аномально підвищений (Мічуринське родовище, 1100 г/т).

Аналіз розподілу РЗЕ приводить багатьох дослідників до висновку про успадкування породами, що виникли в результаті седиментогенезу, рис, властивих продуктам толеїтового магматизму, тобто найбільш поширеного типу мангійних виплавок [6]. Як відомо [13], геохімічним індикатором при цьому називають відношення Eu/Sm . Зазначений геохімічний показник якнайкраще підходить до гнейсів і так само до продуктів їх гранітизації (мігматитів і гранітів) Інгульського мегаблоку: для тих і інших відношення Eu/Sm складає в середньому 0,33. Тобто роль метабазитів архейського фундаменту, що розмивався, в момент накопичення ранньопротерозойського флішу в цьому регіоні була значною.

Важливо відмітити також на границі архею і раннього протерозою фіксацію за допомогою лантаноїдів так званого «кисневого стрибка». Індикатором кисневого середовища є вміст Се, який завдяки своїй змінній валентності підтверджує наявність такого стрибка для криворізької серії [13, 16] при переході від доломіт-метаконгломератових горизонтів до перекриваючого їх сланцьово-метапісковикового горизонту, який належить глеєватсько-гданцівському рівню. У межах зазначеного переходу вміст Се різко зростає від 9–13 г/т в перших до 44–79 г/т у других. У інгуло-інгулецькій серії, що являється віковим аналогом криворізької серії, «кисневий стрибок», як ми вважаємо, також проявлений на рівні горизонту графітових гнейсів.

5. Елементи мінералізаторів. До цієї групи віднесені сірка, барій, стронцій, рубідій.

Розподіл сірки у рудовміщуючих породах і альбітитових рудах вивчено нами для Северинівського родовища. Вміст елементу (S загальної) в окремих зразках родовища варіює в широких межах (від 0,005–0,006 до 0,127–0,466%). В середньому воно дещо нижче кларкового (чи близьке до нього) в мікроклінітах, діафоритах, альбітизованих породах і рудних альбітитах і суттєво (в 2–3 рази) вище кларку у вміщуючих породах (особливо гнейсах), а також безрудних і слаборудних альбітитах. Найбільш високою концентрацією сірки (0,032–0,466%) характеризуються дайкові діабази. Таким чином, при експлуатації альбітитових родовищ сірка в основному також накопичується в промислових відходах. Процес окислення піриту киснем в природному середовищі при достатній кількості води призводить до утворення сірчаної кислоти. Тому присутність у відвалах сульфідів може призводити до вилуговування з них сірчаною кислотою важких металів, з усіма негативними екологічними наслідками.

Проведені на Северинівському родовищі дослідження дозволяють достатньо впевнено виділити дві форми сірки: сульфідну і сульфатну. Сульфідна сірка переважає у всіх типах порід і руд, а в породах субстрату, включаючи доальбітитові метасоматичні продукти і діафорити, фактично є єдиною. Сульфатна сірка утворює стійку домішку в альбітитах, в тому числі рудних їх різновидах. У породах, що вміщують уранове зруденіння, кількість

сульфідної сірки змінюється від 0,02 до 0,32% (максимум в діафоритах і діабазях) при наявності SO_3 на рівні слідів, до 0,01% в одиничних зразках (таблиця 2). В альбітизованих породах і альбітитах концентрація сульфідної сірки дещо зростає до 0,61–0,82%, одночасно з'являється доволі стійка домішка SO_3 (до 0,09%).

Стронцій, барій, рубідій. В загальних рисах у вивчених родовищах спостерігається збільшення кількості стронцію від вміщуючих порід і альбітизованих їх різновидів, включаючи безрудні альбітити до слабрудних альбітитів і промислових руд.

Для породної маси, включаючи альбітити з некондиційною урановою мінералізацією, звичайним є вміст Sr від $n \cdot 10$ до 100, рідше 200–300 г/т. Кондиційним урановим рудам всіх об'єктів властиві підвищений середній вміст Sr (87,3–730 г/т). Найбільш високою концентрацією стронцію, судячи з матеріалів І.Б. Гаврусевича і О.В. Пушкарева (1985), характеризуються рудні альбітити Новокосянтинівського родовища. В окремих зразках альбітитів (як рудних, так і нерудних) Северинівського родовища концентрація Sr досягає 500–1000 г/т, наближуючись до мінімальних промислово значущих обсягів. Особливо треба сказати про вміщуючу (гнейсову) товщу Юріївського рудного (Au, U) поля. Тут підвищений вміст Sr (400–700, в одному зразку 1626 г/т) пов'язаний з присутністю у складі гнейсів зональних клінопіроксен-амфібол-карбонатних (з апатитом) скарноїдів.

Концентрація стронцію в породах і рудах ураноносних альбітитів і монофракціях польових шпатів двох об'єктів дає основу для висновку, що суттєва частина цього елемента у вміщуючих породах пов'язана саме з польовими шпатами – олігоклазом і мікрокліном. В плагіоклазах Sr^{2+} ізоморфно заміщує Ca^{2+} , в мікроклінах передбачається гетеровалентний ізоморфізм Sr і K, можливо, за типом $(\text{K}^{1+} \text{Si}^{4+}) - (\text{Sr}^{2+} \text{Al}^{3+})$ [15].

Найбільш інформативними для ідентифікації польових шпатів вивчених родовищ є вміст рубідію і стронцію, а також рубідієво-стронцієве відношення. Рубідій, як геохімічний аналог калію, характеризується переважним накопиченням в мікрокліні, де встановлено стійко найбільш високий його вміст (278,8–350,6 г/т). В плагіоклазі концентрація рубідію значно знижується (246,3–274,5 г/т). В метасоматичному альбіті кількість його падає аж до значення нижче порогу чутливості аналізу (< 2 –13,9 г/т). Стронцій, як відомо, пов'язаний з анортитовим (кальцієвим) міналом. Тому максимальна його концентрація притаманна плагіоклазу (395,5–470,3 г/т). У мікрокліні вміст стронцію нерівномірний, але часто залишається підвищеним (32,6–348,3 г/т), особливо у зразках мігматитів і гранітів з підвищеною кількістю анортиту. Альбіт також характеризується нерівномірним розподілом елемента (36,1–186,7 г/т). І тут найбільша його кількість пов'язана з анортитовим міналом, якого в альбіті навіть більше. Можна передбачити, що первинно увесь стронцій знаходився у плагіоклазі, але в результаті метасоматичного натрієво-карбонатного процесу увійшов у структуру карбонатів, при цьому незначна його частина лишилась в структурі альбіту. Відношення Rb/Sr дозволяє упевнено розрізнити ці три типи польових шпатів: для олігоклазу воно складає 0,52–0,69 (середнє по трьох зразках 0,59); для мікрокліну – 0,8–10,75 (по 9 зразках 1,54); для альбіту – 0,005–0,09 (по 10 зразках 0,04).

Кількість барію в лужних польових шпатах при нерівномірному розподілу обумовлена, скоріш за все, проявленням метасоматозу; більш висока вона в

мікрокліні (120–3200, в середньому 1028,8 г/т) у порівнянні з альбітитом (120–1200, при середньому 498,8 г/т). Підвищені концентрації барію в наших зразках близькі до значень у лужних польових шпатах із гранітоїдів центральної частини щита (зокрема, кіровоградського типу), які належать до амфіболітової фації [17].

Висновки

1. Експлуатаційники та більшість дослідників самим фактом експлуатації тільки на уран відносять кіровоградські альбітити до монометальних, чисто уранових, родовищ. Проте, судячи з вивчених об'єктів, в зонах альбітитів нерідко концентруються в промислових (чи близьких до таких) кількостях і інші метали. До них відносяться: золото, а саме, виявлене у самородному вигляді на Північно-Коноплянській ділянці, вісмутова мінералізація рудопрояву Обгінне на флангах Мічурінського родовища, а також пов'язаний з монацитом торій Новокосянтинівського і Юріївського родовищ. Вказані компоненти могли б мати супутнє промислове значення. Із інших систематично підвищених домішок можна назвати ванадій, стронцій, свинець та інші. Серед таких елементів є тісно пов'язані спільністю генезису з ураном (ванадій) і не маючі відношення до лужного урановорудного процесу (торій).

2. З урахуванням геолого-геохімічних характеристик альбітитових родовищ, а також ландшафтно-геохімічних особливостей Інгульського мегаблоку (взаємоперехід лісостепової і степової зон), регіон здається перспективним для формування молодих поверхневих концентрацій урану і елементів-супутників (Ni, Co, Zn, V, Cu, Mo, Pb). Особливо відзначимо південне обрамлення району альбітитів з чітко направленим стоком гідросистеми від джерел живлення (з великою кількістю ураноносних порід) до місць розвантаження. Ця система визначає також ділянки, де сприятливо поєднуються місця розвантаження збагачених ураном підземних вод, ступінь аридності клімату з лужною реакцією ґрунтових вод, а також наявність у складі покривних фацій пород-осаджувачів і водоупорних відкладень, їх перекриваючих. Серед них треба відмітити бучацькі відклади, що вміщують рослинну органіку, у сполученні з регіональним водоупором – глинами київської світи; причому система цих відкладень розташована вище рівня регіональних дрен.

3. Відходи промислової розробки уранових родовищ альбітитової формації, які були (і будуть) складовані і по суті являють собою подрібнений мінеральний концентрат, збагачений ураном та важкими металами в умовах гіпергенних процесів, сприятливих для окислювання і розкладання, без сумніву, несуть потенційну загрозу забруднення навколишнього середовища. При цьому абсолютно прогнозованим є винос атмосферними водами металів, які у більшості випадків шкідливо впливають на екологію з подальшою їх міграцією у систему підземних вод, поступовим проникненням у ґрунти і біологічні об'єкти. Враховуючи особливості складу пухких відкладень, кліматичні зміни і коливання рівня ґрунтових вод регіону, можливе розтягнення вказаних процесів на невизначений час. І якщо природні вторинні концентрації урану і його супутників можуть розглядатись як корисні копалини, то розсіювання цих же металів у водах, ґрунтах і біологічних об'єктах скоріш за все слід віднести до дуже шкідливих утворень.

4. Вважаємо за необхідне подальше проведення більш детальних і систематичних досліджень району уранових альбітитових родовищ на сучасному рівні. Бо: по-перше, багато питань, які відносяться саме до геохімії урану в зоні гіпергенезу альбітитів, залишаються недостатньо вивченими; по-друге, існує багато прогалин у вивченні взаємозв'язку урану і його елементів-домішок; по-третє, наскільки нам відомо, ніхто до цього часу не проводив всього комплексу робіт з вивчення геолого-екологічних причинно-наслідкових зв'язків за даною проблемою. Такі роботи повинні включати в себе металометричну, гідрогеохімічну, біохімічну складові. Але, як мінімум, необхідне проведення обстежень відвалів, хвостосховищ на предмет виявлення ознак сучасних гіпергенних мінералоутворюючих процесів та заходів зменшення негативного впливу цих процесів на довкілля.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Генетические типы и закономерности размещения урановых месторождений Украины. Отв. редакторы Я.Н. Белевцев, В.Б. Коваль. Киев: Наук. думка, 1995. – 396 с.
2. Верховцев В.Г. та ін. (2014). Перспективи розвитку уранової сировинної бази ядерної енергетики України / В. Г. Верховцев [та ін.]. – Київ : Наук. думка, 2014. – 355 с.
3. Dudar T.V., Zakytnyi Ye.Ye., and Bugera M.A. (2015). Uranium Mining and Associated Environmental Challenges for Ukraine. – *Science-Based Technologies*, № 1(25), 2015. – P. 68–73.
4. Michel Cuney et al. (2012) Uranium deposits associated with Na-metasomatism from central Ukraine: A review of some of the major deposits and genetic constraints. – *Ore Geology Reviews*. 44. – P. 82–106.
5. Суцук К.Г., Верховцев В.Г. (2019). Металогенія урану в фанерозі платформної частини України // *Геохімія техногенезу* (Зб. наук. праць ІГНС НАН України). – К. Вип. 2 (30). – С. 56–69. (in Ukrainian).
6. Закономерности образования и размещения урановых месторождений Украины. Отв. редактор Я.Н. Белевцев. Киев: 1968. – 763 с.
7. Войткевич Г.В., Кокин А.В., Мирошников А.Е., Прохоров В.Г. Справочник по геохимии. Москва: Недра, 1990. – 480 с.
8. Токарев А.Н., Купель Е.Н., Попова Т.П. и др. Радиогидрогеологический метод поисков месторождений урана. – Москва: Недра, 1975. – 255 с.
9. Белевцев Я.Н., Егоров Ю.П., Титов В.К. и др. Средние содержания урана и тория в главнейших типах горных пород Украинского щита // *Геол. журн.* – 1975. – 35, вып. 4. – С. 96–117.
10. Есипчук К.Е., Шеремет Е.М., Зинченко О.В. и др. Петрология, геохимия и рудоносность интрузивных гранитоидов Украинского щита. – Киев: Наук. думка, 1990. – 236 с.
11. Щербаков И.Б. Петрология Украинского щита. Львов: ЗУКЦ, 2005. – 366 с.
12. Тугаринов А.И., Балашов Ю.Н., Гаврилова П.К. Распределение редкоземельных элементов в криворожской серии нижнего протерозоя // *Геохимия.* – 1973. – № 1. – С. 28–34.
13. Минеев Д.А. Лантаноиды в рудах редкоземельных и комплексных месторождений. – Москва: Наука, 1974. – 237 с.
14. Балашов Ю.Н., Горяинов П.М. Редкоземельные элементы в докембрийской железорудной формации Приимандровского района // *Геохимия.* – 1966. – № 3. – С. 312–322.
15. Геохимия, минералогия и генетические типы месторождений редких элементов, т. 1. – Москва: Наука, 1964. – 686 с.

16. Коржнев М.Н., Фомин Ю.А. Эволюция условий накопления пород криворожской серии по геохимическим и изотопным данным // Геол. журн. – 1992. – № 3. – С. 93–99.
17. Усенко И.С., Рокачук Т.А., Крамаренко Н.К. и др. Щелочные полевые шпаты гранитоидов Украинского щита. – Киев: Наук. думка, 1980. – 196 с.

Стаття надійшла до редакції 11.12.2019 і прийнята до друку після рецензування 12.02.2020

REFERENCES

1. Belevtsev, Y.N., & Koval, V.B. (Eds. in charge). (1995). *Geneticheskie tipy i zakonomernosti rozmeshcheniya uranovykh mestorozhdenii Ukrainy*. [Genetic types and regularities of localization of uranium deposits of Ukraine]. Kyiv: Nauk. Dumka. (in Russian)
2. Verkhovtsev, V.G. et al. (2014). *Perspektyvy rozvytku uranovoi syrovynnoi bazy yadernoi enerhytyky Ukrainy*. [Prospects for the development of uranium resource base of nuclear power of Ukraine]. Kyiv: Naukova Dumka. (in Ukrainian)
3. Dudar, T.V., Zakytynyi, Ye.Ye., & Bugera, M.A. (2015). Uranium Mining and Associated Environmental Challenges for Ukraine. *Science-Based Technologies*, 1(25), 68-73.
4. Michel Cuney et al. (2012). Uranium deposits associated with Na-metasomatism from central Ukraine: A review of some of the major deposits and genetic constraints. *Ore Geology Reviews*, 44, 82-106.
5. Sushchuk, K.G., & Verkhovtsev, V.G. (2019). Metalogeniya uranu v fanerozoi platformenoyi chastynu Ukrainu [Metalogeny of uranium in Phanerozoic of the sedimentary part of Ukraine]. *Geokhimiya tekhnogenezu (Zb. Nauk. Prats' IGNS NAN Ukrainu)*, 2(30), 56-69. (in Ukrainian)
6. Belevtsev, Y.N. (Eds. in charge). (1968). *Zakonomernosti obrazovaniya i rozmeshcheniya uranovykh mestorozhdenii Ukrainy*. [Regularities of formation and localization of uranium deposits of Ukraine]. Kyiv. (in Russian)
7. Voitkevich, G.V., Kokin, A.V., Miroshnikov, A.Ye., & Prokhorov, V.G. (1990). *Spravochnik po geokhimii*. [Geochemistry reference]. Moscow: Nedra. (in Russian)
8. Tokarev, A.N., Kupel, Ye.N., Popova, T.P., et al. (1975). *Radihidrogeologicheskii metod poiskov mestorozhdenii urana*. [Radihydrogeological method for uranium deposits surveying]. Moscow: Nedra. (in Russian)
9. Belevtsev, Ya.N., Yegorov, Yu.P., Titov, V.K. et al. (1975). Srednie sodержaniya urana i toriya v glavneishykh tipakh gornyykh porod Ukrainskogo Shchita. [Average content of uranium and thorium in the major types of rocks of Ukrainian Shield]. *Geol. Zhurnal*, 35(4), 96-117. (in Russian)
10. Yesipchuk, R.Ye., Sheremet, Ye.M., Zinchenko, O.V. et al. (1990). *Petrologiya, geokhimiya s rudonostost intrusivnykh granitoidov Ukrainskogo shchita*. [Petrology, geochemistry, and ore formation in intrusive granitoids of the Ukrainian Shield]. Kyiv: Nauk. Dumka. (in Russian)
11. Shcherbakov, I.B. (2005). *Petrologiya Ukrainskogo Shchita*. [Petrology of the Ukrainian Shield]. Lviv: ZUKTS. (in Russian)
12. Tugarinov, A.I., Balashov, Yu.N., & Gavrilova, P.K. (1973). Raspredeleniye redkozemelnykh elementov v krivorozskoi serii nizhnego proterozoya [Distribution of rare earth elements in Kryvorizyya series of Lower Proterozoic]. *Geokhimiya*, (1), 28-34. (in Russian)
13. Mineev, D.A. (1974). *Lantanoidy v rudakh redkozemelnykh i kompleksnykh mestorozhdeniyakh*. [Lantanoids in ores from rare earth and complex deposits]. Moscow: Nauka. (in Russian)
14. Balashov, Yu.N., & Goryainov, P.M. (1966). Redkozemelnye element v dokembriiskoi zhelezorudnoi formatsii Pryimandrovskogo raiona. [Rare earth elements in Pre-Cambrian iron formation of Ptyimandrovskii region]. *Geokhimiya*, (3), 312-322. (in Russian)

15. *Geokhimiya, mineralogiya i geneticheskie tipy mestorozhenii redkikh elementov, v. 1 [Geochemistry, mineralogy and genetic types of rare elements deposits, v. 1].* (1964). Moscow: Nauka. (in Russian)
16. Korznev, M.N., & Fomin, Yu.A. (1992). Evolyutsia uslovii nakopleniya porod krivorozskoi serii po geokhimicheskim s szotopnym dannym. [Evolution of accumulation conditions of Kryvorizzya series rocks on geochemical and isotopic data]. *Geol. Zhurnal*, (3), 93-99. (in Russian)
17. Usenko, I.S., Rokachuk, T.A., Kramarenko, N.K. et. al. (1980). *Shchelochnye polevyeye shpaty granitoidov Ukrainskogo Shchita. [Alkaline feldspars from granitoids of the Ukrainian Shield].* Kyiv: Nauk. Dumka. (in Russian)

The article was received 11.12.2019 and was accepted after revision 12.02.2020

Фомін Юрій Олександрович

кандидат геолого-мінералогічних наук, провідний науковий співробітник ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України»
Адреса робоча: 03142, Україна, м. Київ-142, пр. Палладіна, 34а
e-mail: yaf1941@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-3043-8359>

Деміхов Юрій Миколайович

кандидат геолого-мінералогічних наук, завідувач лабораторії ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України»
Адреса робоча: 03142, Україна, м. Київ-142, пр. Палладіна, 34а
e-mail: y_demikhov@ukr.net
<https://orcid.org/0000-0002-3576-6570>

Верховцев Валентин Геннадійович

доктор геологічних наук, завідувач відділу ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України»
Адреса робоча: 03142, Україна, м. Київ-142, пр. Палладіна, 34а
e-mail: Verkhovtsev@ukr.net
<https://orcid.org/0000-0002-1015-6725>

Дудар Тамара Вікторівна

кандидат геолого-мінералогічних наук, доцент кафедри екології Національного авіаційного університету
Адреса робоча: 03058, Україна, м. Київ, просп. Любомира Гузара, 1, корпус 5/602
e-mail: tamadudar@ukr.net
<http://orcid.org/0000-0003-3114-9732>

Борисова Наталія Миколаївна

провідний інженер ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України»
Адреса робоча: 03142, Україна, м. Київ-142, пр. Палладіна, 34а
e-mail: IGNS_Borysova@nas.gov.ua
<https://orcid.org/0000-0002-7169-1430>

Кравчук Зінаїда Миколаївна

провідний інженер ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України»
Адреса робоча: 03142, Україна, м. Київ-142, пр. Палладіна, 34а
e-mail: IGNS_Kravchuk@nas.gov.ua
<https://orcid.org/0000-0002-6093-488X>