

ГЕОХІМІЯ НІОБІЮ, ТОРІЮ І УРАНУ В АЛЬБІТИТАХ НОВООЛЕКСІЇВСЬКОГО РУДОПРОЯВУ, УКРАЇНСЬКИЙ ЩИТ

І.І. Михальченко¹, О.В. Андрєєв²

*1 – Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України
пр. акад. Палладіна, 34, м. Київ-142, 03680, Україна*

E-mail: alcoldan@i.ua

*2 – Навчально-науковий інститут “Інститут геології Київського національного
університету імені Тараса Шевченка”
вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна*

У результаті проведеного дослідження хімічного складу проб із кернів свердловини, якою були перетнуті торій-ураноносні альбітита Новоолексіївського рудопрояву Партизанського рудного поля Центральноукраїнського урановорудного району (Український щит), з’ясовано, що зі збільшенням масових часток як урану, так і торію, збільшується масова частка ніобію. Статистичний зв’язок ніобію й урану в альбітитах класифікований як високий (оцінка коефіцієнта рангової кореляції Спірмена $\approx 0,73$), ніобію й торію – як помітний (оцінка коефіцієнта рангової кореляції Спірмена $\approx 0,68$). За отриманими даними з’являються підстави визначити ніобій як елемент-супутник торій-уранового зруднення Новоолексіївського рудопрояву.

Ключові слова: ніобій, уран, торій, кореляція, альбітит, Новоолексіївський рудопрояв.

Постановка проблеми. Дослідження розповсюдження і розподілу хімічних елементів у земній корі, їх розсіяння й місцевої концентрації, є одними з головних завдань прикладної геохімії [26]. Із середини 1940-х років у центральній частині Українського щита (УЩ) увагу дослідників привертала урановорудні об’єкти [5], зокрема, рудна формація ураноносних натрієвих метасоматитів (РФУНМ) [10], яка на теперішній час є основою мінерально-сировинної бази урану в Україні [5, 10, 12].

Особливістю первинних ореолів рудних родовищ є надходження й осадження під час утворення рудного об’єкта значної кількості хімічних елементів [21]. Традиційно вважається, що в ході утворення РФУНМ Центральноукраїнського (ЦУУР) й Кіровоградського урановорудних районів (КУУР), назви районів наводимо за [5], відбувся привнос й осадження, зокрема, значних мас U й Na (останнього – неспівставно більше), що й знайшло відображення у її назві [10]. На теперішній час об’єкти згаданих вище рудних районів

розглядаються (стосовно корисного компоненту) як моноелементні, уранові [10, 15]. Проте в середині 1960-х рр. у кристалічному фундаменті центральній частині УЩ виявлені лужні натрієві метасоматити, в ореолах яких були відкриті рідкісноземельно-торій-уран-фосфорні рудопрояви [14, 16], а в 1970–1980 рр. – торій-уранові родовища, рудопрояви, точки мінералізації [4, 20].

Актуальним завданням є доповнення переліку елементів-супутників торій-уранового зруднення, зокрема, на прикладі торій-ураноносних альбітитів Новоолексіївського рудопрояву (НОР). Цікавість саме до цього рудного об’єкта обумовлена згаданою вище специфічною геохімічною спеціалізацією рудоносних альбітитів та наявністю кам’яного матеріалу, який був отриманий під час проведення новітніх пошуково-оцінювальних робіт. Потрібно зазначити, що, вірогідно, найменш дослідженим елементом у хімічному складі метасоматичних порід РФУНМ є ніобій (Nb). Це обумовлено: давністю геохімічних досліджень (більшість яких була виконана в 1970–1980 рр.); переважним визначенням масової частки (С) Nb у

© Михальченко І.І., Андрєєв О.В., 2015

хімічному складі порід за допомогою методу атомно-емісійного спектрального аналізу; відносно малою кількістю відомих публікацій, в яких наведено дані з визначення C_{Nb} у хімічному складі рудоносних альбітитів ЦУУР й КУУР.

Геологічна будова. НОР був виявлений разом з іншими рудними об'єктами Партизанського рудного поля (ПРП) в кінці 1970-х рр. М.Ф. Сиродоевим та ін. (пошуково-зйомочна експедиція № 46 казенного підприємства “Кіровогеологія” (сучасна назва) (ПЗЕ № 46)) у центральній частині Новоукраїнського складного гранітного масиву. Останній знаходиться на заході Інгільського (Кіровоградського) мегаблоку УЩ. Тектоніка земної кори району ПРП визначається наявністю двох поверхів: нижній поверх складений, переважно, інтрузивними породами докембрійського кристалічного фундаменту; верхній – пухкими кайнозойськими породами чохла. Вихідними породами об'єктів РФУНМ ПРП були, переважно, сублужні гранітоїди новоукраїнського комплексу (PR_1^{nu}) (2038–2025 млн рр. [6]), якими складений однойменний алохтонний гранітний масив. Серед гранітів наявні невеликі тіла монзонітів й габроїдів цього ж магматичного комплексу.

Ареали гідротермально-метасоматичних порід геологічної формації лужних натрієвих метасоматитів зон глибинних розломів (PR_1^{mt}) (“діафторовані” граніти (передова зона гідротермального метаморфізму) → альбіт-мікроклінові (мікроклін-альбітові) метасоматити (“сієніти”) (проміжна зона метасоматичної колонки) → альбітити (тилова зона метасоматичної колонки) ПРП закартовані в зоні перетину північно-східної Адабаської й північно-західної Войнівської зон розломів у 1970-х та на початку 1980-х рр. Детальна інформація щодо геологічної будови наведена в [5, 13]. Головний розлом Адабаської зони (однойменний із зоною) складається з декількох швів мілонітів, ультрамілонітів, бластомілонітів, які знаходяться в оточенні більш широких зон катаклазу. Падіння Адабаського розлому північно-західне. У зонах лужного метасоматозу трапляються зони доальбітитового, синальбітитового та постальбітитового брекчіювання й тріщинуватості. Войнівська зона розломів є частиною регіональної північно-західної Андріївсько-Онїкеєвської зони розломів, в якій відомі, зокрема, численні “доальбітові” дайки основних та ультраосновних порід северинського комплексу (PR_1^{sv}) (назва комплексу за О.М. Сухініним, 1984) Бобринецько-Андріївського дайкового поясу. Декілька “доальбітових”

малопотужних дайок основних порід відомі і в структурі НОР. Тіла альбітитів ПРП утворилися, переважно, в лежачому боці Адабаського розлому. Вік утворення уранініту з альбітиту Адабаської зони розломів оцінено в 1810 ± 5 млн р. [5, С. 212]. Віковий проміжок утворення натрієвих метасоматитів Інгільського мегаблоку УЩ оцінюється в 1840–1800 млн р. [6, С. 200].

НОР знаходиться в південно-західній частині ПРП. У дослідженому перетині альбітитів НОР “нерудні” відмінності мають червонувато-сіре забарвлення із зеленуватим відтінком, реліктову крупнозернисту структуру. Розподіл кольорових мінералів нерівномірний. “Рудні” різновиди альбітитів вирізняються на тлі “нерудних” зеленувато-сірим забарвленням з характерними бурими плямами, зі значною часткою в обсязі середніх і крупних кристалів і зростків сфену й гематиту (за часткою у обсязі породи тут це другорядні мінерали). Породи мають підвищену магнітну сприйнятливність. Переходи до “нерудних” альбітитів – через зони цегляного кольору потужністю до 5 см (верхня зона частково розбурена). У “нерудних” альбітитах наявний епідот, сфен і гематит. Обсяг останніх двох значно менше, ніж у “рудних” альбітитах (за часткою у обсязі породи – акцесорні мінерали). У дослідженому перетині “нерудних” альбітитів вирізняється “доальбітитовий” слабкий катаклаз та синметасоматичне слабке брекчіювання. В інтервалі “рудних” альбітитів виявлені ознаки потужного “доальбітитового” брекчіювання вихідної породи (граніту), слабке “дорудне” (синметасоматичне) брекчіювання альбітитів, “об'ємний” катаклаз.

Аналіз попередніх досліджень і публікацій. У 1976 р. З. Гречішнікова та В. Заяц опублікували матеріали щодо геохімічної спеціалізації порід Северинівського родовища (КУУР) (за даними визначення хімічного складу проб, відібраних з кернів свердловин профілю 103) [7]. Судячи з променевих діаграм, які були наведені на с. 52 цієї роботи, C_{Nb} у хімічному складі альбітитів цього родовища близька до його кларку в кислих породах земної кори (опублікований у [2]).

У тому ж 1976 р. Ф. Ракович опублікувала дані з розподілу мікроелементів у гнейсах, мігматитах, гранітах і натрієвих метасоматитах, які утворилися по цих породах. Зокрема, було зазначено, що “Гафний, ниобий, скандій в породах району зустрічаються рідко и в меньших количествах. Частота встречи этих элементов в рудных фракциях значительно увеличивается. Среднее содер-

жання гафнія – 0,013 %, ниобія – 0,012 % і скандія – 0,005 %” [22]. Наведені оцінки середнього вмісту стосуються саме рудних альбітитів.

У 1985 р. І. Гаврусевич та ін., характеризуючи хімічний склад проби торій-урановорудного альбітиту Кіровського родовища ПРП вказали C_{Nb} – 39 г/т (метод – рентгеноспектральний флуоресцентний аналіз (РСФА)). Визначена за методом атомно-емісійно-спектрального аналізу C_{Nb} у цій пробі виявилася значно меншою – 0,001–0,002 % [4].

У 1990 р. В. Зінченко та ін. визначили “теоретический парагенезис химических элементов урановорудного процесса в альбититах” у склад якого вони ввели, зокрема, U, торій (Th), Nb та титан (Ti), при цьому автори не навели жодного результату визначення C_{Nb} та C_{Ti} у складі альбітитів [8].

У 1991 р. О. Комаровим була наведена характеристика реконструкції міграції хімічних елементів при утворенні тектоно-метасоматичних зон у кристалічному фундаменті УЩ і, зокрема, району Новоукраїнського масиву [13]. У відомостях щодо характеру змін хімічного складу вихідних гнейсу, плагіомігматиту, мігматиту та граніту при утворенні по цих породах лужних натрієвих метасоматитів значення середніх C_{Nb} були опубліковані тільки для гнейсу й плагіомігматиту та гідротермально-метасоматичних порід, які по ним утворилися [13, С. 110–111]. Оцінка середньої C_{Nb} у хімічному складі гнейсу – 6, в альбітіті апогнейсовому – 15,9 г/т, у плагіомігматиті – 6,9 у плагіомігматиту альбітизованого (для альбітиту апоплагіомігматитового C_{Nb} не наведені) – 13,3 г/т.

У 1995 В. Синицин та ін. [5] надали характеристику вмісту деяких елементів у метасоматичній колонці постальбітитової стадії, яка утворилася по альбітиту гранат-діопсидовому. Реконструкція цієї колонки була наведена на с. 268 [5]: (альбіт + гранат + діопсид + магнетит (0 зона) → альбіт + амфібол + магнетит (1 зона) альбіт + гідробіотит + гематит (2 зона) → альбіт + гідробіотит + карбонат (3 зона) → альбіт + гематит + карбонат (4 зона) → альбіт + гематит (5 зона)). Одиниці виміру вмісту елементів – моль/см³. З діаграм, які наведені на рис. 7.21 [5, С. 270], був зроблений висновок, що U, Nb, Pb та Zr мають ідентичні криві розподілу вмісту, з максимумами в районі 3-ої та 5-ої зон. У районі цих же зон спостерігаються максимуми вмісту Ti та Rb. Від 0-ої до 5-ої зони виявлено стійке збільшення вмісту в альбітитах Th.

Дані з розподілу C_{Nb} вздовж перетину ореолу ураноносних лужних натрієвих метасоматитів мідно-уранового родовища Валгалла (Valhalla,

Mount Isa district, Australia, свердловина V39) ми знайшли в роботі Пауля Політо (Paul Polito), Курта Кайзера (Kurt Kuser) та Кліфа Стенлі (Cliff Stanley) [28]: значеннями C_{Nb} у пробах вмісних метаморфізованих вулканогенно-осадових порід і породах ореолу лужного метасоматозу суттєво не відрізняються.

У 2013 р. Енді Вайлдом (Andy Wilde) [29] наведені оцінки коефіцієнтів кореляції U й Nb метасоматитів рудних об’єктів уран-альбітитового типу (Albitite-Type Uranium): для родовища Лагоа Реал (Lagoa Real, Brazil) – 0,85 (39 проб), для рудних проб родовища Ариченг Ноос (Aricheng North, Kurupung Batholith, Guyana) зі значеннями $C_U > 500$ ppm – 0,53 (988 проб), для рудних проб родовища Джаку Лейк (Jacque’s Lake, Central Mineral Belt, Canada) з $C_U > 500$ ppm – 0,59 (793 проби), Дюк Ветмен (Duke Batman, Mount Isa district, Australia) – 0,41 (14 проб) [29]. За опублікованими у доступній літературі відомостями щодо геологічної будови зазначених рудних об’єктів, тільки уранові родовища Лагоа Реал і Дюк Ветмен можна співставляти з об’єктами РФУНМ, які входять до складу ЦУУР, КУУР й Криворізько-Кременчуцької металогенічної зони.

На теперішній час відоме значення коефіцієнта рангової кореляції Спірмена (КРКС) U й Th торій-ураноносних альбітитів НОР, яка становить $\approx 0,84$ [18], відповідно, статистичний зв’язок цих хімічних елементів за шкалою Чеддока класифікований як високий, позитивний.

Виділення невирішеної раніше частини загальної проблеми. Опубліковані відомості з визначення C_{Nb} у хімічному складі рудоносних альбітитів центральної частини УЩ неповні, досить суперечливі та неоднозначні. Наприклад, В. Синицин навів дані щодо розподілу Nb у зонах реконструйованої метасоматичної колонки постальбітитової стадії, при цьому відсутні дані з визначення вмісту цього елементу в усіх зонах реконструйованої метасоматичної колонки головної стадії породоутворення (див. [5]). О. Комаров опублікував результати визначення середньої C_{Nb} зон метасоматичного ореолу тільки для гнейсу і плагіомігматиту (для останнього – частково) (див. [13]). Ф. Ракович оприлюднила дані визначення середнього C_{Nb} тільки для рудних різновидів альбітитів (див. [9]).

Узявши до уваги дані О.М. Комарова (див. [13]), рекомендацію В. Зінченка та ін. щодо необхідності дослідження “теоретического парагенезиса” хімічних елементів лужних натрієвих метасоматитів (див. [5]), результати дослідження

В. Синицина з розподілу U, Th, Nb та Ti у реконструйованій метасоматичній колонці постальбітитої стадії, яка утворилася по альбітиту гранатдіопсидовому (наведені вище), ми визначали доцільність дослідження зв'язку Nb з U і Th у торій-ураноносних альбітитах НОР.

Зв'язок роботи з науковими та практичними завданнями. Дослідження пов'язане з виконанням наукових робіт Інституту геохімії, мінералогії і рудоутворення ім. М.П. Семененка Національної академії наук України № III-01-13 “Хроностратиграфія та геодинаміка мегаблоків Українського щита” державний реєстраційний номер 0112U-006807, № III-01-11 “Генезис уранових родовищ центральної частини Українського щита” державний реєстраційний номер 0111U001015; Розпорядження Президента України від 27.02.2001 р. № 42/2001-рп “Про розроблення енергетичної стратегії України на період до 2030 р. і на подальшу перспективу” (зі змінами), яким підтримані пропозиції Національної академії наук України щодо розроблення Енергетичної стратегії України на період до 2030 року та дальшу перспективу, та відповідної постанови Кабінету Міністрів України від 06.06.2001 р. № 634-8 “Про затвердження комплексної програми створення ядерно-паливного циклу України” (зі змінами), проведенням казенним підприємством “Кіровгеологія” геологорозвідувальних робіт (шифр робіт – 46-63), наукових робіт Науково-навчального інституту “Інститут геології Київського національного університету імені Тараса Шевченка” за темою № 14БП049-02 “Створення геологічного депозитарію північно-західної та центральної частин Українського щита”.

Об'єкт дослідження – торій-ураноносні альбітита Новоолексіївського рудопрояву.

Предмет дослідження – хімічний склад альбітитів Новоолексіївського рудопрояву.

Мета дослідження – визначення особливостей статистичного зв'язку ніобію з ураном та торієм.

Методи дослідження. Збір даних попередніх і сучасних геологічних досліджень, геологічна і радіометрична документація кернів нової свердловини, відбір наважок з дублікатів проб із кернів, статистичні розрахунки, статистичний аналіз. Наважки з дублікатів проб були відібрані у сховищі проб ПЗЕ № 46 за погодженням з керівництвом, дякуємо за допомогу робітницям Т. Калініченко та С. Чайці.

C_U , C_{Th} й C_{Nb} у наважках з дублікатів проб були визначені методом РСФА (лабораторія Навчально-наукового інституту “Інститут геології

Київського національного університету імені Тараса Шевченка”). Визначення С хімічних елементів виконано на рентгенофлуоресцентному спектрометрі СЕР-01 (фірма “Елватех”, Київ) за методом зовнішнього стандарту з використанням стандартних зразків ХС СГ-1А – граніт альбітизований (ДСЗ № 520-84П), стандартні зразки складу уранових руд та продуктів їх переробки (комплект СОУР ДСЗУ 123.12-96), СРСР); ВР – базальт, ГН – граніт (GRPG, Нансі, Франція); АГВ-1 – андезит, ВСР-1 – базальт, G-2 – граніт (USGS, США).

На теперішній час відомо, що низькі і середні значення С хімічних елементів у пробах порід рудних родовищ розподіляються за логнормальним законом. Спроби використання інших ймовірнісних законів розподілу успіху не мали [11]. Ця закономірність підтверджена статистичним дослідженням розподілу визначень C_U у хімічному складі проб апогранітних альбітитів Новокосятинівського родовища ЦУУР, вибірка яких виявилася ще й неоднорідною [17]. Зважаючи на відносно невеликий обсяг проб вихідної вибірки значень C_U , C_{Th} та C_{Nb} , значну відмінність мінімальних й максимальних значень вимірів масових часток цих хімічних елементів (різняється більше ніж у десять разів (рис. 1)), виявлену статистичну неоднорідність (за значеннями lgC_U) альбітитів Новокосятинівського родовища, та ознаки статистичної неоднорідності вибірки визначень хімічного складу альбітитів НОР (див. рис. 1), дослідження статистичних зв'язків виконані із застосуванням непараметричного методу кореляційного аналізу – розрахунком КРКС. Перед статистичними дослідженнями ми вираховували відповідні десяткові логарифми (lg) значень С хімічних елементів (табл. 1). Зазначимо, що використання lgC замість первинних значень вимірів С не впливає на оцінку КРКС.

Послідовність дослідження кореляції між хімічними елементами: побудова й аналіз кореляційних полів (за [11, 23]) lgC_{Nb} на lgC_U , та lgC_{Nb} на lgC_{Th} ; розрахунок та дослідження значущості КРКС за [1]; статистичний зв'язок класифікований за шкалою Чеддока, наведеною у роботі [23].

Верифікація оцінки тісноти статистичного зв'язку здійснена шляхом розрахунку коефіцієнту детермінації (ДТ) за значеннями коефіцієнтів b лінійних рівнянь регресій (ЛРР) [25, С. 149, формула 7.3.1]. Константи й коефіцієнти ЛРР розраховані аналітичним способом Лежандра й Гауса за формулами, наведеними в [3].

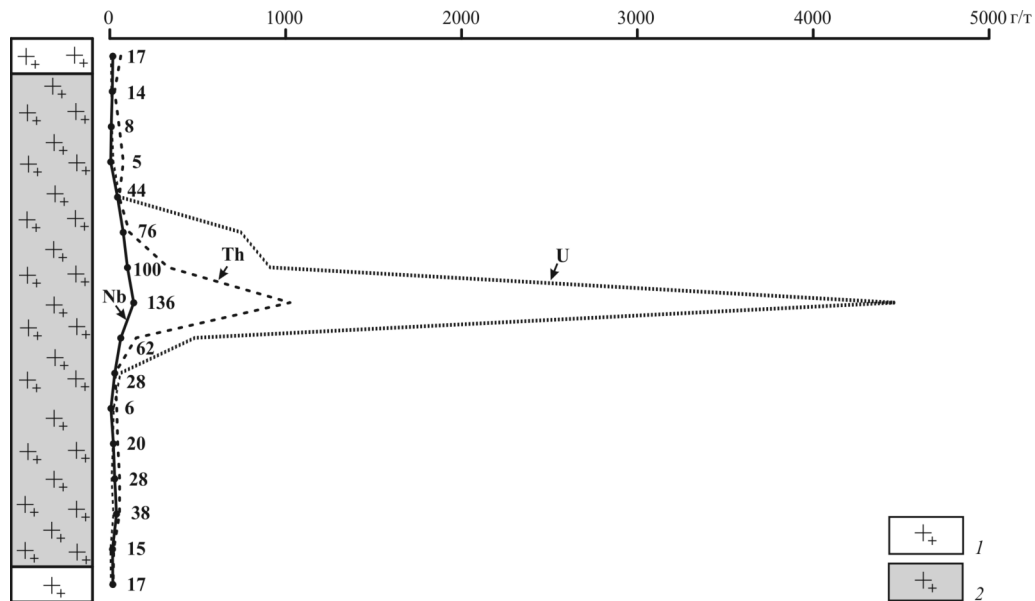


Рис. 1. Розподіл урану, торію й ніобію вздовж перетину альбітитів Новоолексіївського рудопроаяву (схема). Цифрові значення на кривій розподілу ніобію – C_{Nb} ; 1 – граніт гранат-біотитовий порфіровидний новоукраїнського комплексу “діафторований”; 2 – альбітит апогранітний

Результати дослідження. Визначення C_U , C_{Th} й C_{Nb} виконано за матеріалом 16 наважок з дублікатів суміжних проб, з яких дві (№№ 1, 16) характеризують хімічний склад “діафторованого” граніту, а чотирнадцять (№ 2–15) – власне перетин торій-ураноносних апогранітних альбітитів [19]. Найбільші значення C_U , C_{Th} й C_{Nb} у хімічному складі альбітитів тяжіють до центральної частини перетину (див. рис. 1).

Зі збільшенням у хімічному складі проб дослідженого перетину альбітитів НОР C_U спостерігається тенденція до збільшення C_{Nb} (див. рис. 1, 2). Це стало підставою для дослідження статистичного зв’язку між зазначеними хімічними елементами.

Проміжні результати статистичної обробки парних визначень lgC_U та lgC_{Nb} наведені в табл. 2. КРКС вирахований за рівнянням 1:

$$r_{s1} = 1 - \frac{((6 \times \sum(RlgC_{Ui}) - RlgC_{Nbi})^2)}{(n(n^2 - 1))} = 1 - \frac{((6 \times 122) : (14 \times (14^2 - 1)))}{(14 \times 182)} = 1 - 0,2681 \approx 0,73, \quad (1)$$

де: r_{s1} – вибірковий КРКС lgC_U й lgC_{Nb} , n – кількість пар значень lgC_U й lgC_{Nb} у вибірці, $RlgC_{Ui}$, $RlgC_{Nbi}$ – ранги, відповідно, значень lgC_{Ui} й lgC_{Nbi} (див. табл. 2).

Критичне значення коефіцієнта кореляції для рівня значущості 0,05 й обсягу вибірки в 14 пар дорівнює:

$$r_{kp} = \varphi(1 - \alpha) : (n - 1)^{0,5} = \varphi95 : (14 - 1)^{0,5} = 1,64 : 3,6056 \approx 0,45, \quad (2)$$

де: r_{kp} – критичне значення коефіцієнта кореляції для значень lgC_U й lgC_{Nb} , n – кількість пар значень lgC_U й lgC_{Nb} (див. табл. 2), φ – значення оберненої функції нормального розподілу (за [3]), α – рівень значущості.

Отримане значення КРКС lgC_U й lgC_{Nb} (r_{s1}) рудоносних альбітитів НОР (1) більше за відповідне критичне значення коефіцієнта кореляції r_{kp1} (2), відповідно, кореляція значима.

Таблиця 1. Значення десяткових логарифмів (lg) C_U , C_{Th} й C_{Nb} з перетину Новоолексіївського рудопроаяву (див. рис. 1)

Номер з/п	LgC_{Ui}	LgC_{Thi}	LgC_{Nbi}
1	0,8451	1,7924	1,2304
2	0,9542	1,4314	1,1461
3	1,0792	1,7243	0,9031
4	1,3010	1,8865	0,6990
5	1,7404	1,7243	1,6435
6	2,8722	2,0453	1,8808
7	2,9595	2,5211	2,0000
8	3,6495	3,0107	2,1335
9	2,6839	2,1761	1,7924
10	1,7782	1,4771	1,4472
11	1,3424	1,5911	0,7782
12	1,2553	1,6532	1,3010
13	1,0000	1,7482	1,4472
14	1,3010	1,7404	1,5798
15	0,6021	1,3424	1,1761
16	0,7782	1,2788	1,2304

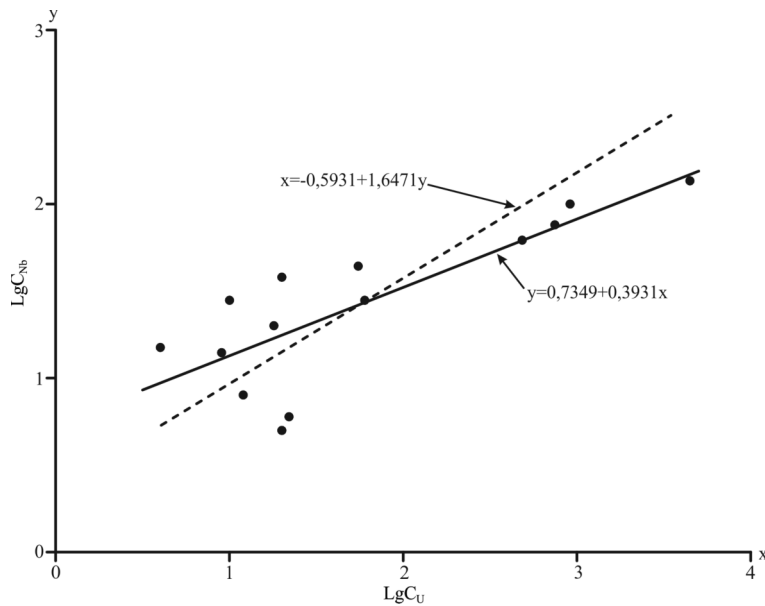


Рис. 2. Кореляційне поле значень десяткових логарифмів C_U й C_{Nb} у пробах альбітитів Новоолексівського рудопрояву, рівняння регресії lgC_{Nb} на lgC_U ($y = 0,7349 + 0,3931x$), та lgC_U на lgC_{Nb} ($x = -0,5931 + 1,6471y$). Вихідні дані наведені в табл. 2. Пояснення – у тексті

Таблиця 2. Проміжні результати статистичної обробки десяткових логарифмів парних визначень C_U й C_{Nb}

Номер (відп. до табл. 1)	LgC_{Ui}	LgC_{Nbi}	$RlgC_{Ui}$	$RlgC_{Nbi}$	$RlgC_{Ui} - RlgC_{Nbi}$	$(RlgC_{Ui} - RlgC_{Nbi})^2$
2	0,9483	1,1416	2,0	4,0	-2,0	4,0
3	1,0855	0,8916	4,0	3,0	1,0	1,0
4	1,3004	0,6832	6,0	1,0	5,0	25,0
5	1,7382	1,6417	9,0	10,0	-1,0	1,0
6	2,8719	1,8811	12,0	12,0	0,0	0,0
7	2,9594	2,0000	13,0	13,0	0,0	0,0
8	3,6495	2,1349	14,0	14,0	0,0	0,0
9	2,6840	1,7932	11,0	11,0	0,0	0,0
10	1,7750	1,4456	10,0	7,0	3,0	9,0
11	1,3488	0,8110	8,0	2,0	6,0	36,0
12	1,2645	1,3079	5,0	6,0	-1,0	1,0
13	1,0107	1,4479	3,0	8,0	-5,0	25,0
14	1,3110	1,5842	7,0	9,0	-2,0	4,0
15	0,5616	1,1883	1,0	5,0	-4,0	16,0
Σ						122

Примітка: $RlgC_{Ui}$, $RlgC_{Nbi}$ – ранги.

За шкалою Чеддока статистичний зв'язок lgC_U й lgC_{Nb} у дослідженому перетині альбітитів класифікується як високий. Верифікація цієї оцінки тісноти статистичного зв'язку lgC_U й lgC_{Nb} перетину альбітитів НОР здійснена шляхом розрахунку КПКП.

За значеннями lgC_U й lgC_{Nb} (табл. 2) розраховані константа та коефіцієнт ЛПП lgC_{Nb} на lgC_U . Це рівняння має вигляд:

$$y = a_1 + b_1x = 0,7349 + 0,3931x, \quad (3)$$

де: $x - lgC_U$ (факторна ознака), $y - lgC_{Nb}$ (результативна ознака), $a_1 -$ константа ЛПП lgC_{Nb} на lgC_U ; $b_1 -$ коефіцієнт ЛПП lgC_{Nb} на lgC_U (див. рис. 2).

Відповідне рівняння лінії регресії lgC_U на lgC_{Nb} :

$$x = a_2 + b_2y = -0,5931 + 1,6471y, \quad (4)$$

де: $x - lgC_U$ (результативна ознака), $y - lgC_{Nb}$ (факторна ознака), $a_2 -$ константа ЛПП lgC_U на lgC_{Nb} ; $b_2 -$ коефіцієнт ЛПП lgC_U на lgC_{Nb} (див. рис. 2).

Значення вибіркового КД для пар lgC_U й lgC_{Nb} становить:

$$r_1^2 = b_1b_2 = 0,3931 \times 1,6471 \approx 0,6475, \quad (5)$$

де: $r_1^2 -$ оцінка КД, b_1 та $b_2 -$ коефіцієнти, відповідно, рівнянь регресій lgC_{Nb} на lgC_U , та lgC_U на lgC_{Nb} (див. 3, 4). Відповідна оцінка КПКП lgC_U й lgC_{Nb} вирахована в (6):

$$r_1 = (r_1^2)^{0,5} = (0,6475)^{0,5} \approx 0,80 \quad (6)$$

де: $r_1 -$ оцінка КПКП lgC_U й lgC_{Nb} , $r_1^2 -$ оцін-

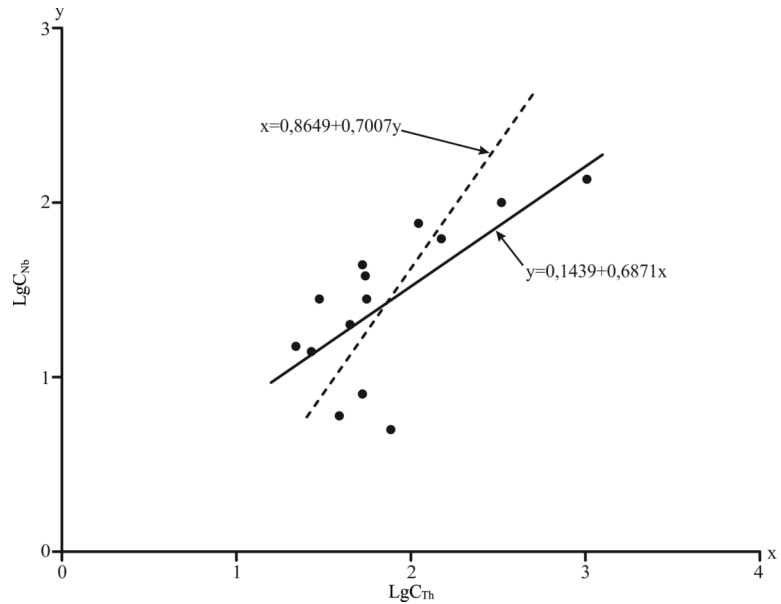


Рис. 3. Кореляційне поле значень десяткових логарифмів C_{Th} й C_{Nb} у пробах з перетину альбітитів Новоолексіївського рудопояву, відповідні рівняння регресій lgC_{Nb} на lgC_{Th} ($y = 0,1439 + 0,6871x$), та lgC_{Th} на lgC_{Nb} ($x = 0,8649 + 0,7007y$). Вихідні дані наведені в табл. 3. Пояснення – у тексті

Таблиця 3. Проміжні результати статистичної обробки десяткових логарифмів парних визначень C_{Th} й C_{Nb}

Номер (відп. до табл. 1)	LgC_{Thi}	LgC_{Nbi}	$RlgC_{Thi}$	$RlgC_{Nbi}$	$RlgC_{Thi} - RlgC_{Nbi}$	$(RlgC_{Thi} - RlgC_{Nbi})^2$
2	1,4239	1,1416	2,0	4,0	-2,0	4,0
3	1,7221	0,8916	6,0	3,0	3,0	9,0
4	1,8891	0,6832	10,0	1,0	9,0	81,0
5	1,7258	1,6417	7,0	10,0	-3,0	9,0
6	2,0454	1,8811	11,0	12,0	-1,0	1,0
7	2,5207	2,0000	13,0	13,0	0,0	0,0
8	3,0105	2,1349	14,0	14,0	0,0	0,0
9	2,1763	1,7932	12,0	11,0	1,0	1,0
10	1,4802	1,4456	3,0	7,0	-4,0	16,0
11	1,5908	0,8110	4,0	2,0	2,0	4,0
12	1,6565	1,3079	5,0	6,0	-1,0	1,0
13	1,7492	1,4479	9,0	8,0	1,0	1,0
14	1,7399	1,5842	8,0	9,0	-1,0	1,0
15	1,3364	1,1883	1,0	5,0	-4,0	16,0
Σ						144

Примітка: $RlgC_{Ui}$, $RlgC_{Nbi}$ – ранги.

ка КД (5). За шкалою Чеддока статистичний зв'язок lgC_U й lgC_{Nb} у дослідженому перетині альбітитів за оцінкою КПКП, див. (6) також класифікується як високий.

Зі збільшенням у хімічному складі проб дослідженого перетину альбітитів НОР C_{Th} також спостерігається тенденція до відповідного збільшення C_{Nb} (рис. 1, 3). Проміжні результати статистичної обробки парних визначень lgC_U та lgC_{Nb} наведені в табл. 3.

Оцінка КРКС lgC_U та lgC_{Nb} вирахована в (7):

$$r_{s2} = 1 - (((6 \times \Sigma(RlgC_{Thi} - RlgC_{Nbi})^2) : (n(n^2 - 1))) = 1 - ((6 \times 144) : (14 \times (14^2 - 1))) = 1 - 0,3165 \approx 0,68, \quad (7)$$

де: r_{s2} – КРКС lgC_{Th} й lgC_{Nb} , n – кількість пар значень lgC_{Th} й lgC_{Nb} у вибірці (див. табл. 3), $RlgC_{Thi}$, $RlgC_{Nbi}$ – ранги, відповідно, значень lgC_{Nbi} й lgC_{Thi} (див. таб. 3).

Отримане значення КРКС lgC_{Th} й lgC_{Nb} (r_{s2}) дослідженого перетину альбітитів НОР (7) більше критичного значення коефіцієнту кореляції $r_{кр}$ (див. рівняння 2), відповідно, кореляція значима. За шкалою Чеддока статистичний зв'язок lgC_{Th} й lgC_{Nb} класифікується як помітний.

Верифікація визначеної тісноти статистичного зв'язку lgC_{Th} й lgC_{Nb} здійснена у той же спосіб, як і для lgC_U й lgC_{Nb} . За значеннями lgC_{Th} й lgC_{Nb} (див. таб. 3) розраховані константа та коефіцієнт

ЛРР lgC_{Nb} на lgC_{Th} . Рівняння регресії lgC_{Nb} на lgC_{Th} має вигляд:

$$y = a_3 + b_3x = 0,1439 + 0,6871x, \quad (8)$$

де: x – lgC_{Th} (факторна ознака), y – lgC_{Nb} (результативна ознака), a_3 – константа ЛРР lgC_{Nb} на lgC_{Th} ; b_3 – коефіцієнт ЛРР lgC_{Nb} на lgC_{Th} (див. рис. 3).

Відповідне рівняння регресії lgC_{Th} на lgC_{Nb} :

$$x = a_4 + b_4y = 0,8649 + 0,7007y \quad (9)$$

де: x – lgC_{Th} (факторна ознака), y – lgC_{Nb} (результативна ознака), a_4 – константа lgC_{Th} на lgC_{Nb} ; b_4 – коефіцієнт ЛРР lgC_{Th} на lgC_{Nb} (див. рис. 3).

Вибіркове значення КД для парних значень lgC_{Th} на lgC_{Nb} становить:

$$r_2^2 = b_3b_4 = 0,6871 \times 0,7007 \approx 0,4814, \quad (10)$$

де: r_2^2 – КД, b_3 та b_4 – коефіцієнти, відповідно, рівнянь регресій lgC_{Nb} на lgC_{Th} , та lgC_{Th} на lgC_{Nb} (див. рівняння (8), (9)). Відповідне значення КПКП lgC_{Th} на lgC_{Nb} вирахована в рівнянні 11:

$$r_2 = (r_2^2)^{0,5} = (0,4814)^{0,5} \approx 0,69, \quad (11)$$

де: r_2 – КПКП для пар значень lgC_{Th} й lgC_{Nb} , r_2^2 – КД пар значень lgC_{Th} й lgC_{Nb} (10). Отримане значення КПКП для пар значень lgC_{Th} й lgC_{Nb} рудоносних альбітитів НОР (11) значно більша відповідного критичного значення коефіцієнта кореляції $r_{кр}$, див. (2), відповідно, кореляція значима. Статистичний зв'язок значень lgC_{Th} й lgC_{Nb} за оцінкою КПКП також класифікується як помітний.

Обговорення результатів. Зі збільшенням як C_U , так і C_{Th} у хімічному складі альбітитів НОР спостерігається відповідне збільшення C_{Nb} , що знайшло своє відображення в оцінках щільності зв'язку, які наведені вище. За наявними даними з'являються підстави розглядати U, Th й Nb як парагенетичну асоціацію хімічних елементів в альбітитах НОР, а Nb – як елемент-супутник торій-уранового зруднення цього рудопрояву.

У хімічному складі рудних різновидів Th-U, а також TR-Th-U пегматитів Побузького ураново-рудного району [5, 12, 24], рудні об'єкти якого знаходяться недалеко від ЦУУР й КУУР, C_{Nb} значно менша від кларку цього елемента для кислих порід (останній опублікований у [2], близькі до визначення C_{Nb} у хімічному складі гранітів Новоукраїнського масиву [27]).

У роботі [19] наведені відомості щодо C_{Nb} у хімічному складі магматичних порід кристалічного фундаменту в районі ЦУУР, які були взяті з доступних літературних джерел.

У хімічному складі сієнітів фаялит-геденбергітових Великописківського масиву, який входить до складу Корсунь-Новомиргородський плутону, значення вимірної C_{Nb} коливається в межах 40–120 г/т (у меланократовому кумулаті – 480 г/т) (дані С.Г. Кривдіка та ін., 2011), окремих інтервалів літєвих пегматитів Полоховського родовища (опис – у [9]) C_{Nb} сягає 263 г/т (св. № 26–90, проба 140к, дані КП “Кіровогеологія”), кімберліту Кіровоградського глибинного розлому C_{Nb} – 143–809 г/т (за одним винятком) (дані С.М. Цимбала, 2013).

Нам не вдалося знайти в доступних літературних джерелах відомості з дослідження зв'язків урану, торію та ніобію в зазначених магматичних породах.

Висновки. 1. Зі збільшенням у хімічному складі проб альбітитів Новоолексіївського рудопрояву масових часток як урану, так і торію спостерігається збільшення масової частки ніобію.

2. Статистичний зв'язок ніобію й урану в альбітитах Новоолексіївського рудопрояву визначений як високий.

3. Статистичний зв'язок ніобію й торію в альбітитах Новоолексіївського рудопрояву визначений як помітний.

4. За наведеними даними з'являються підстави визначити ніобій як елемент-супутник торій-уранового зруднення Новоолексіївського рудопрояву.

Напрямок подальших досліджень: виконання більшого обсягу визначень C_U , C_{Th} й C_{Nb} у пробах метасоматичних порід інших перетинів альбітитів НОР, встановлення мінералу-концентратора Nb в альбітитах НОР, дослідження розподілу цього хімічного елемента в породах інших рудних об'єктів ПРП.

Автори висловлюють подяку начальнику ПЗЕ № 46 В.М. Сергієнку та головному геологу ПЗЕ № 46 В.І. Погукаю за сприяння у виконанні цього дослідження.

Література

1. Ван дер Варден Б.Л. Математическая статистика.— М. : Иностран. лит., 1960.— 435 с.
2. Виноградов А.П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия. — 1962. — № 7. — С. 555–571.
3. Ворошилов В.Г. Математическое моделирование в геологии. — Томск : Изд-во ТПУ, 2001. — 124 с.
4. Гаврусевич И.Б., Корнева Н.Г., Пушкарёв А.В. Урано-ториевая минерализация в альбититах Кировского рудопроявления // Геохимические особенности ураноносных щелочных метасоматитов УЩ. — К. : ИГФМ АН УССР, 1986. — С. 28–35. (Препринт / ИГФМ АН УССР).
5. Генетические типы и закономерности размещения урановых месторождений Украины / Отв. ред. Я.Н. Белевцев, В.Б. Коваль. — К. : Наук. думка, 1995. — 396 с.
6. Геохронология раннего докембрия Украинского щита. Протерозой / Отв. ред. Н.П. Щербак. — К. : Наук. думка, 2008. — 240 с.
7. Гречишников З.М., Заяц В.Б. К вопросу о зональном строении геохимических ореолов месторождений уран-натриевой формации на примере профиля 103 Севериновского месторождения // Информационный бюллетень. — 1976. — № 28. — С. 48–65.
8. Зинченко В.А., Ноженко А.В., Бояринова Н.В. Источник урана месторождений натриево-урановой формации Кировоградско-Новоукраинского рудного района по геохимическим данным // Материалы по геологии урановых месторождений, редких и радиоактивных элементов. Информац. сборник. — 1990. — Вып. 123. — С. 4–15.
9. Иванов Б.Н., Косюга В.Н., Погукай В.И. Площадные и экзоконтактовые редкометалльные метасоматиты Шполянско-Ташлыкского рудного района // Геохім. та рудоутв. — 2011. — Вип. 30. — С. 10–17.
10. Інструкція із застосування класифікації запасів і ресурсів корисних копалин державного фонду надр до родовищ уранових руд / ДКЗ України. — К., 1999. — 96 с.
11. Карлье Э. Методика количественной оценки месторождений урана. — М. : Атомиздат, 1966. — 351 с.
12. Кировоградский рудный район. Глубинное строение. Тектонофизический анализ. Месторождения рудных полезных ископаемых / Под ред. В.И. Старостенко, О.Б. Гинтова. — К. : Прастыи Луды, 2013. — 500 с.
13. Комаров А.Н., Черкашин Л.А. Редкометалльные тектоно-метасоматические зоны Украинского щита. — К. : Наук. думка, 1991. — 180 с.
14. Кузьмин А.В., Чумакова С.П., Пушкарёв А.В. Фосфорное оруденение в ураноносных тектоно-метасоматических узлах // Информационный бюллетень (геология, методика поисков). — 1973. — № 24. — С. 44–53.
15. Методические рекомендации по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Радиоактивные металлы. — М. : ФГУ ГКЗ, 2007. — 58 с.
16. Минеева И.Г. Сравнительная геохимическая характеристика и типоморфные элементы полевошпатовых метасоматитов с урановой и бериллиевой минерализацией // Материалы по геологии урановых месторождений. Информац. сборник. — 1979. — Вып. 54. — С. 197–218.
17. Михальченко І.І. Оцінка концентрації урану в альбітитах Новокосянтинівського родовища (Український щит) // Пошукова геохімія та екологічна геохімія. — 2014. — № 1–2. — С. 61–69.
18. Михальченко І.І. Статистичний зв'язок урану й торію в рудоносних альбітитах Новоолексіївського рудопрояву (Український щит) // Науковий вісник Національного гірничого університету. — 2015. — № 1. — С. 36–41.
19. Михальченко І.І., Андреев О.В. Вміст ніобію в складі торій-ураноносних альбітитів Новоолексіївського рудопрояву, Український щит // Сучасна геологічна наука і практика в дослідженнях студентів і молодих фахівців: Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції / Криворізь. нац. ун-т, (26–28 берез. 2015). — Кривий Ріг, 2015. — С. 87–91.
20. Обризанов В.Н. К вопросу о связи месторождений натрий-урановой формации с гранитами // Информационный бюллетень. — 1976. — № 28. — С. 4–18.
21. Овчинников Л.Н. Прикладная геохимия. — М. : Недра, 1990. — 248 с.
22. Ракович Ф.И. Распределение микроэлементов в гнейсах, мигматитах, гранитах и образованым по ним натриевых метасоматитах // Распределение микроэлементов в гнейсах, мигматитах, гранитах и образованым по ним натриевых метасоматитах. — К. : ИГФМ АН УССР, 1976. — 40 с. (Препринт / ИГФМ АН УССР).
23. Сизова Т.М. Статистика. — СПб. : СПб ГУИТМО, 2005. — 80 с.
24. Сьомка В.О., Иванов Б.Н., Пономаренко О.М., Бондаренко С.М., Щербак Д.М. Петрогеохімічні особливості рідкісноземельно-торій-уранових пегматитів центральної частини Українського щита і проблеми їх генезису // Мінерал. журн. — 2008. — 30, № 1. — С. 94–103.
25. Ткачѳв Ю.А., Юдович Я.Э. Статистическая обработка геохимических данных // Методы и проблемы.— Л. : Наука (Лен. отд.) 1975. — 233 с.
26. Ферсман А.Е. Геохимия: Избр. тр. Том. III. — М. : Изд-во АН СССР, 1955. — 799 с.
27. Cinely Sandrine, Cuney Michel, Emetz Alexander, Vanderyhaenge Olivier, Boulvais Philippe. Sodium metasomatism in the Michurinka uranium ore deposit of the Kirovograd–Novoukrainsk district // Métasomatose sodique et Minéralisations uranifères associées: Exemples du district de Kirovograd – Novoukrainsk (Ukraine), du batholite du Kurupung (Guyana), et du gisement d’Espinharas (Brésil). — 2008. — P. 102–118.
28. Polito Paul A., Kyser T. Kurt, Stanley Cliff. The Proterozoic, albitite-hosted, Valhalla uranium deposit, Queensland, Australia: a description of the alteration assemblage associated with uranium mineralisation in diamond drill hole V39 // Mineralium Deposita. — 2009. — P. 11–40.
29. Wilde Andy. Towards a Model for Albitite-Type Uranium // Minerals. — 2013. — № 3. — P. 36–48.

Mihalchenko I.I., Andreev O.V.

Geochemistry of niobium, thorium and uranium of ore-bearing albitites Novoalekseevka ore deposit, the Ukrainian shield.

The aim of the paper is the estimation of the degree of statistical relation between niobium and uranium, and niobium and thorium of albitites of Novoalekseevka ore deposit, Partizan ore-bearing field of the Central-Ukrainian uranium ore-bearing district of the Ukrainian Shield. Concentration of U, Th and Nb was determined by XRF-method in the laboratory of educational-research institute "Institute of geology" of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Statistical relation have been investigated by using one of non-parametric methods of correlation analysis – determination of Spearman's coefficient rank correlation. Verification of presence of statistical relation is carried out by the calculation of determination coefficient by using the values of coefficients b_1 and b_2 of linear equations of regressions, niobium on uranium and uranium on niobium, accordingly, and values of coefficients b_3 and b_4 of linear equations of regressions, niobium on thorium and thorium on niobium, accordingly. Spearman's coefficient rank correlation of niobium and uranium is estimated as about 0,73, accordingly, statistical relation of these chemical elements is classified as high and positive one. Spearman's coefficient rank correlation of niobium and thorium of the albitites is estimated as about 0,68, accordingly, statistical relation of these chemical elements is classified as salient and positive one. The obtained data give grounds for thinking that niobium is element-satellite of the thorium-uranium mineralization.

Key words: niobium, uranium, thorium, correlation, albitite, Novoalekseevka ore deposit.

Михальченко И.И., Андреев О.В.

Геохимия ниобия, тория и урана в альбититах Новоалексеевского рудопоявления, Украинский щит.

В результате проведенного исследования химического состава проб из кернов, полученных при пересечении скважиной торий-ураноносных альбититов Новоалексеевского рудопоявления Партизанского рудного поля Центрально-Украинского урановорудного района (Украинский щит), установлено (методом РФА), что при увеличении массовых долей как урана, так и тория, увеличивается массовая доля ниобия. Статистическая связь ниобия и урана в альбититах классифицирована как высокая (оценка коэффициента ранговой корреляции Спирмена $\approx 0,73$), соответственно, ниобия и тория – как заметная (оценка коэффициента ранговой корреляции Спирмена $\approx 0,68$). Полученные данные дают основания считать ниобий элементом-спутником торий-уранового оруденения Новоалексеевского рудопоявления.

Ключевые слова: ниобий, уран, торий, корреляция, альбитит, Новоалексеевское рудопоявление.

Надійшла 29.04.2015.