
doi: <https://doi.org/10.15407/dopovidi2017.07.051>

УДК 553.2:553.49:550.42

Ю.О. Фомін, В.Г. Верховцев, Ю.М. Деміхов, А.О. Студзінська

ДУ “Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України”, Київ

E-mail: anna.studz88@ukr.net

Мінералізатори в урановорудних альбітитах Українського щита

Представлено членом-кореспондентом НАН України Р.Я. Белєвцевим

Вперше для уранових родовищ альбітитової формації Українського щита вивчені головні мінералізатори складної урановорудної системи, що дає можливість використовувати генетичні методи її дослідження. Саме такий підхід дозволив більш детально простежити умови рудоутворення в обстановці підвищеної фугітивності кисню лужних метасоматичних розчинів. Мінералоутворююча система в ході натрієвого метасоматозу функціонувала в режимі багаторазової взаємодії збагачених ураном формаційних (порових) флюїдів і метеорних вод. Також підтверджується генетичний зв'язок уранового зруденіння з ураніл-карбонатними комплексами як формами переносу урану.

Ключові слова: мінералізатори, альбітитова формація, натрієвий метасоматоз, Інгульський мегаблок, Український щит.

Наявність у рудній системі компонентів, що містять вуглець, кисень, водень та сірку, уможливорює застосування ізотопно-геохімічних (генетичних!) методів дослідження таких систем, тобто спрямовує дослідження природних об'єктів (рудних родовищ) у генетичному напрямку. У запропонованій розробці наведена характеристика мінералізаторів, які брали участь у формуванні уранових родовищ альбітитової формації Інгульського мегаблока Українського щита. Це: 1) вода і гідроксил-іон, що складають основу рудоутворюючого гідротермального флюїду; 2) вуглецевмісні компоненти (елементарні, карбонатуотворюючі та вуглець-водневі); 3) сірковмісні сполуки (сульфат- та сульфід-іони). Названі речовини відіграють роль геохімічних каталізаторів у розчинах, різко підвищуючи їх метасоматичну хімічну активність і тим сприяючи послідовному утворенню різних мінеральних асоціацій.

На підставі результатів аналізу польовошпатової системи родовищ, представленої плагіоклазами, ортоклазом, мікрокліном і альбітом та сформованої протягом ультраметаморфічного, післягранітаційного і гідротермально-метасоматичного етапів мінералізації, встановлено механізм зародження та еволюцію водовмісного гідротермального флюїду. Підтверджено факт існування в тектоно-метасоматичних зонах уранових родовищ вод ендогенного (метаморфогенного) і метеорного типів [1]. Перший тип вод своїм зародженням зобов'язаний процесам “кросоверу”, тобто інверсії моноклінного ортоклазу в триклинний

© Ю.О. Фомін, В.Г. Верховцев, Ю.М. Деміхов, А.О. Студзінська, 2017

ISSN 1025-6415. Допов. Нац. акад. наук Укр. 2017. № 7

мікроклін, яка відбувається при 450–500 °С — у температурному інтервалі існування водовмісного флюїду [2], з яким генетично пов'язаний післягранітаційний кремній-калієвий метасоматоз. На присутність такого флюїду вказує сам факт утворення мікрокліну, оскільки трансформація ортоклазу в мікроклін проходить тільки у водовмісних системах амфіболітової фації, тоді як у “сухих” умовах гранулітової фації зберігається ортоклаз.

Урановорудний лужно-карбонатний метасоматоз характеризується наростаючою активністю метеорних вод. Наявність ізотопної рівноваги в системі альбіт – вода при 200–300 °С підтверджує генетичний зв'язок новоствореного альбіту та води включень в ньому, ця ж вода законсервована в більш ранніх мінералах зовнішніх частин метасоматичних зон. Розрахунок ізотопного складу кисню води, виходячи з рівноваги в системі мінерал – вода, для кварцу, альбіту і карбонатів Новокостянтинівського родовища у інтервалі температур системи 420–53 °С (для процесу альбітизації цей інтервал значно вужчий, 300–190 °С), показує загальну тенденцію її ізотопно-кисневого полегшення в міру охолодження рудоутворюючого флюїду. Причому як зниження температури в системі, так і зміщення ізотопного співвідношення кисню на користь ізотопу ^{16}O мають дискретний характер, що відображає прояви крихких деформацій і, відповідно, перерви мінералоутворення [3].

Саме прогресивні процеси (метаморфізм, палінгенез) і ранній кремній-калієвий метасоматоз призвели до початку функціонування водовмісних флюїдів, причому не тільки в самих гранітно-купольних структурах, але й на західних та східних їх флангах. Діафорити ж у регресивних умовах могли служити своєрідним «накопичувачем» як розчинів, так і мобільних форм урану. Першоосновою води мінералоутворюючих флюїдів ми вважаємо поверхневі води [1].

Детальне геолого-мінералогічне та ізотопно-геохімічне вивчення карбонатів виявило в межах альбітитових родовищ численну кількість типів (до десяти) карбонатних фаз, що відображають дуже складну полігенну їх природу, а також умови еволюції процесів карбонатування в широкому температурному інтервалі — від 270–240 до 150–70 °С [4]. При всьому можливому різноманітті джерел вуглецю основна роль у рудоутворюючих зонах, мабуть, належить карбонатному вуглецю первинно-осадових порід, хоча, напевно, карбонати пройшли через регенерацію, взаємодію з різними водними флюїдами, а також відчули гомогенізацію своїх складових, що, можливо, відбувалася на значній глибині. Мінералоутворююча система в ході натрієвого метасоматозу, судячи з численних фактів рециркулювання карбонатів, функціонувала в режимі багаторазової взаємодії збагачених ураном формаційних (порових) розчинів і активізуючих метеорних вод. Перші характеризуються систематично обважненим ізотопним складом кисню ($\delta^{18}\text{O}$ до +8,8 . . . +9,3 ‰) в умовах, близьких до рівноваги з вміщуючими породами. Другі (очевидно свіжі порції) в ізотопному відношенні сильно полегшені: $\delta^{18}\text{O}$ –7,0 . . . –0,7 ‰. Змішані флюїди характеризуються проміжними значеннями $\delta^{18}\text{O}$ води [5].

Результати дослідження підтверджують генетичний зв'язок уранового зруденіння з ураніл-карбонатними комплексами як формами переносу урану [6]. Як правило, порогом «підривання» (розтріскування) вуглекислотних включень є температура 240–300 °С. Водно-сольові з невеликою домішкою включення гомогенізуються при температурі 180–200 °С і тиску $0,67 \cdot 10^8$ Па. При температурі 120–160 °С відбувається гомогенізація водно-сольових, без домішки CO_2 , включень. Температурний інтервал 300–180 °С, таким чином,

можна розглядати як температуру початку і завершення руйнації ураніл-карбонатних комплексів і рудовідкладання. Дійсно, за експериментальними даними ураніл-карбонатні комплекси найбільш розчинні і стійкі в лужних та близьконеітральних розчинах при помірно підвищеній температурі (250–300 °С). При 200 °С розчинність цих комплексів невелика і збільшується із зростанням парціального тиску CO₂. Отже, випадання карбонатних фаз неминуче призводило до осадження урану [5, 4].

Маємо підкреслити генетичний зв'язок урану з ванадієм для альбітитових родовищ УЩ, який встановлено для інших, головним чином вторинних, концентрацій цих елементів [7]. Формування концентрацій обох елементів пов'язано єдиним процесом, що відбувається в окислювальних умовах лужного (натрієвого) метасоматозу. Беручи до уваги геологічні і фізико-хімічні показники, цей процес є двостадійним, включаючи більш ранній і широко проявлений натрієвий метасоматоз (альбітизацію) і локально накладені залізисто-продуктивні асоціації зі значним посиленням окислювального потенціалу. Температура натрієвої стадії (на прикладі Ватутінського родовища) становить 410–320 °С, залізистої стадії – 240–180 °С. Якщо формування багатих уранових руд відбувалося в другу (продуктивну) стадію, то ванадій більшою мірою тяжіє до першої, а саме до ізоморфного входження в темнокольорові мінерали (егірін, рибекіт, можливо й інші) і сфен. Крім того, наявність ванадію достовірно встановлено в цирконі, гематитизованому магнетиті та бранериті Ватутінського, в уранініті Мічурінського і в піриті Северинівського родовищ.

Сірка вихідних порід на всіх вивчених об'єктах укладається в загальний ізотопний діапазон значень $\delta^{34}\text{S}$ від –2,8 до +20,3 ‰, обумовлений належністю едукту до єдиного стратиграфічного, вікового та літолого-геохімічного рівня, а саме до горизонту суттєво біотитграфітових гнейсів із сульфідною і карбонатною складовими в розрізі інгуло-інгулецької серії раннього протерозою (чечеліївська світа) [8]. На фактичному матеріалі показане існування в рудоутворюючих системах альбітитових родовищ двох форм сірки – сульфідної і сульфатної. Перша з них, головним чином пірит різних генерацій, переважає у всіх (без винятку) типах порід і руд, а в породах субстрату, включаючи доальбітитові метасоматичні продукти (мікроклініти) та діафорити, фактично є єдиною. Друга форма представлена баритом і генетично пов'язана з процесом альбітизації. Вона зовсім відсутня в породах едукту, але утворює стійку домішку в альбітитах, у тому числі в рудних їх різновидах [9].

Згідно з одержаними даними, саме в умовах лужного метасоматозу, тобто за участю окислювальних розчинів, відбувалось ізотопне фракціонування сірки між сульфатом барію (і часті стронцію) із збагаченням його важким ізотопом ³⁴S і сульфідами (піритом) з відносним накопиченням у цих мінералах легкого ізотопу ³²S. З цим механізмом пов'язана і встановлена для сульфідної сірки всіх уранових родовищ альбітитової формації тенденція до зміщення її (сірки) ізотопного співвідношення на користь легкого ізотопу ³²S (від порід едукту до уранових руд). Вона має загальний характер, хоча і проявляється по-різному, і пояснюється саме багаторазовим перевідкладенням вихідного піриту за умов підвищеної фугітивності кисню лужних метасоматичних розчинів. Крім того, майже повсюдно відмічено прояв генерацій піриту з сіркою, близькою за ізотопним складом до метеоритного стандарту, для якої ми припускаємо глибинне походження [9]. Такі пірити встановлені в ділянках діафорезу з передальбітитовими крихкими деформаціями та в рудних альбітитах, складених продуктивними мінеральними асоціаціями, також з проявленням передрудних крихких деформацій.

ЦИТОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Фомин Ю.А., Демихов Ю.Н. Изотопный состав кислорода и водорода воды газовой-жидких включений в полевых шпатах натриево-карбонатных метасоматитов докембрия. *Доп. АН України. Сер. Б.* 1990. № 10. С. 26–29.
2. Мельников В.С. Генетическое значение инверсионного перехода санидин/микроклин. 1. Флюидный фактор в трансформации двойниковой структуры щелочных полевых шпатов. *Мінерал. журн.* 2009. **31**, № 4. С. 16–29.
3. Фомин Ю.А., Демихов Ю.Н., Лазаренко Е.Е. Особенности рудообразующего флюида Новоконстантиновского месторождения урана (Украинский щит). *Допов. Нац. акад. наук Укр.* 2009. № 4. С. 130–136.
4. Фомин Ю.А., Демихов Ю.Н., Лазаренко Е.Е. Эволюция карбонатов Севериновского месторождения урана (Украинский щит). *Допов. Нац. акад. наук Укр.* 2002. № 12. С. 94–98.
5. Фомин Ю.А., Демихов Ю.Н., Лазаренко Е.Е., Терещенко С.И. Природа карбонатов Севериновского месторождения урана (Украинский щит). *Геохімія та екологія. Зб. наук. праць Інституту геохімії навколишнього середовища.* 2002. Вип. 5–6. С. 124–132.
6. Наумов Г.Б. Основы физико-химической модели уранового рудообразования. Москва: Атомиздат, 1978. 213 с.
7. Фомин Ю.А. Поведение ванадия в процессе формирования и разрушения месторождений урановорудных альбититов Украинского щита. *Зб. наук. праць Інституту геохімії навколишнього середовища.* 2012. Вип. 20. С. 59–75.
8. Фомин Ю.А., Демихов Ю.Н. Изотопный состав углерода и серы раннепротерозойских пород центральной части Украинского щита. *Допов. Нац. акад. наук Укр.* 2008. № 7. С. 123–129.
9. Фомин Ю.А., Демихов Ю.Н. Сера в процессе эволюции урановых месторождений альбититовой формации (Кировоградский мегаблок). *Пошукова та екологічна геохімія.* 2010. № 1. С. 71–81.

Надійшло до редакції 02.02.2017

REFERENCES

1. Fomin, Yu. A. & Demikhov, Yu. N. (1990). The isotopic composition of oxygen and hydrogen of the water of gas-liquid inclusions in feldspars sodium-carbonate metasomatic rocks of Precambrian. *Dop. AN Ukraine*, No. 10, pp. 26-29 (in Russian).
2. Melnikov, V. S. (2009). The genetic value of the inversion transition sanidine / microcline. 1. Fluid factor in the transformation of the twin structure of alkali feldspar. *Mineral. J.*, 31, No. 4, pp. 16-29 (in Russian).
3. Fomin, Yu. A., Demikhov, Yu. N. & Lazarenko, E. E. (2009). Peculiarities of the ore-forming fluid of the Novokonstantinovskoye uranium deposit (Ukrainian Shield). *Dopov. Nac. acad. nauk Ukr.*, No. 4, pp. 130-136 (in Russian).
4. Fomin, Yu. A., Demikhov, Yu. N. & Lazarenko, E. E. (2002). Evolution of carbonates of the Severinovskiy uranium deposit (Ukrainian Shield). *Dopov. Nac. acad. nauk Ukr.*, No. 12, pp. 94-98 (in Russian).
5. Fomin, Yu. A., Demikhov, Yu. N., Lazarenko, E. E. & Tereshchenko, S. I. (2002). Nature of carbonates of Severinovskiy uranium deposit (Ukrainian Shield). *Heokhimiya ta ekolohiya*, Iss. 5-6, pp. 124-132 (in Russian).
6. Naumov, G. B. (1978). *Fundamentals of physical and chemical model of uranium mineralization*, Moscow: Atomizdat (in Russian).
7. Fomin, Yu. A. (2012). The behavior of vanadium in the process of formation and destruction of deposits of uranium ore albitites of the Ukrainian Shield, Collected scientific paperes Institute of environmental geochemistry. Iss. 20, pp. 59-75 (in Russian).
8. Fomin, Yu. A. & Demikhov, Yu. N. (2008). Isotopic composition of C and S in the Early Proterozoic rocks of the Central part of the Ukrainian shield. *Dopov. Nac. acad. nauk Ukr.*, No. 7, pp. 123-129 (in Russian).
9. Fomin, Yu. A. & Demikhov, Yu. N. (2010). Sulfur in the evolution of uranium deposits of albitite formation of the Kirovograd megablock. *Poshukova ta ekolohichna heokhimiya*, No. 1, pp. 71-81 (in Russian).

Received 02.02.2017

Ю.А. Фомин, В.Г. Верховцев, Ю.Н. Демихов, А.О. Студзинская

ГУ “Институт геохимии окружающей среды НАН Украины”, Киев

E-mail: anna.studz88@ukr.net

МИНЕРАЛИЗАТОРЫ В УРАНОВОРУДНЫХ АЛЬБИТИТАХ УКРАИНСКОГО ЩИТА

Впервые для урановых месторождений альбититовой формации Украинского щита изучены главные минерализаторы сложной урановорудной системы, что дает возможность использовать генетические методы ее исследования. Именно такой подход позволил более детально проследить условия рудообразования в обстановке повышенной фугитивности кислорода щелочных метасоматических растворов. Минералообразующая система в ходе натриевого метасоматоза функционировала в режиме многократного взаимодействия обогащенных ураном формационных (поровых) флюидов и метеорных вод. Также подтверждается генетическая связь уранового оруденения с уранил-карбонатными комплексами как формами переноса урана.

Ключевые слова: минерализаторы, альбититовая формация, натриевый метасоматоз, Ингульский мегаблок, Украинский щит.

Yu.A. Fomin, V.G. Verhovcev, Yu.N. Demikhov, A.O. Studzinska

Institute of Environmental Geochemistry of the NAS of Ukraine, Kiev

E-mail: anna.studz88@ukr.net

MINERALIZERS IN URANIUM ORE ALBITITES OF THE UKRAINIAN SHIELD

For the first time, the main mineralizers of the complex of uranium ore deposits for the albitite formation of the Ukrainian Shield have been studied, which gives possibilities of the use of genetic methods. This approach allowed a more detailed trace of the mineralization under conditions of the increased oxygen fugacity in alkaline metasomatic fluids. The mineralizing system during the sodium metasomatism operated in the mode of multiple interaction of the formational (interstitial) fluid and meteoric waters enriched by uranium. It is also confirmed by the genetic linkage of the uranium mineralization with carbonate complexes of uranium as a form of transport.

Keywords: mineralizer, albitite formation, sodium metasomatism, Ingulsky megablock, Ukrainian Shield.