
doi: <https://doi.org/10.15407/dopovidi2018.07.072>

УДК 550.42

Ю.О. Фомін, Ю.М. Деміхов, В.Г. Верховцев, Н.М. Борисова

ДУ “Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України”, Київ

E-mail: y_demikhov@ukr.net

Флюїди мінералоутворення як індикатор еволюції зовнішніх оболонок раннього докембрію Землі

Представлено членом-кореспондентом НАН України Р.Я. Белєвцевим

На підставі ізотопно-геохімічного вивчення флюїду газово-рідких включень зроблено висновок, що еволюція зовнішніх оболонок Землі, яка проявилась у глобальному масштабі зміною газового складу атмосфери з безкисневого на істотно кисневий на рубежі архей – ранній протерозой, привела до зміни ендегенних процесів рудо- і мінералоутворення.

Ключові слова: архей, протерозой, флюїд мінералоутворення, ізотопний склад, родовища золота і урану, зеленокам'яні області, Український щит.

Процесу зміни складу атмосфери на рубежі архею і протерозою Холланд [1] дав назву “Велика киснева подія” (Great Oxigenation Event). Це явище викликає великий інтерес вже понад століття [2, 3].

Автори тривалий час займалися визначенням ізотопного складу водню, кисню і вуглецю газово-рідких включень (ГРВ) в мінералах родовищ золота і урану в діапазоні віку від 2800 до 10 млн років. Дослідження показали незмінність як маси, так і ізотопного складу води океану за цей період [4–6]. Але ізотопний склад вуглецю і кисню компонентів гідротермальних флюїдів зазнав помітних змін на стадії переходу від пізнього архею до протерозою.

Вивчені об'єкти належать до двох мегаблоків Українського щита архейського та ранньпротерозойського віку (3042–1750 млн років), в яких досліджено ізотопний склад О, С і Н ГРВ у кварці, польовому шпаті в системі олігоклаз, ортоклаз–мікроклін–альбіт і піриті (рис. 1–3). Згідно з отриманими даними, ізотопний склад кисню CO_2 архейських родовищ помітно різниться від протерозойських. Архейські представлені родовищами золота Сурської і Чортотлицької структур Середньопридніпровської граніт-зеленокам'яної області. Протерозойські – родовищами золота і урану Інгульського мегаблока [6–8].

Насиченість флюїдів CO_2 , пов'язана як з карбонатуванням, так накопиченням і перетворенням органічної речовини. В архейських родовищах (див. рис. 3) молярна частка CO_2 істотно вища (0,01–0,64), кількість органічного вуглецю у флюїді архею не перевищує 0,02–0,03 % при вмісті валового (в основному карбонатного) вуглецю 1,6–4,9 %.

© Ю.О. Фомін, Ю.М. Деміхов, В.Г. Верховцев, Н.М. Борисова, 2018

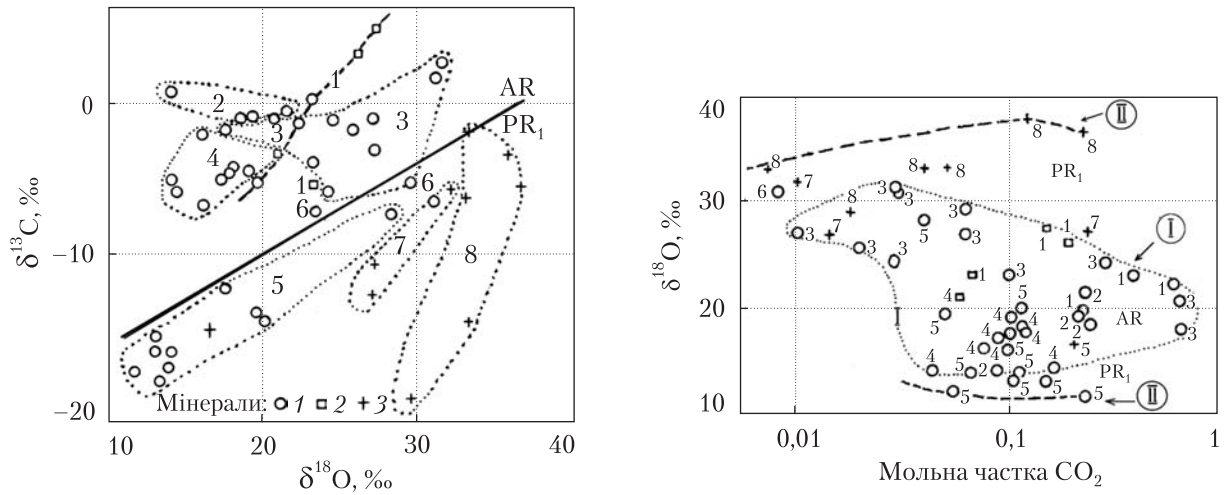


Рис. 1. Діаграма залежності величин $\delta^{13}\text{C}$ і $\delta^{18}\text{O}$ CO_2 флюїдних включень у складі мінералів родовищ золота і урану раннього докембрію Українського щита. *Мінерали:* 1 – кварц; 2 – пірит; 3 – польові шпати. Суцільна лінія розмежовує поля архейських і ранньопротерозойських родовищ. *Цифри на малюнку:* архей: 1 – Сергіївське родовище; Au-колчедан тип руд, Сурська структура; 2 – Родовища Сергіївське та Балка Золота, Au-Bi-Te тип руд, Сурська структура; 3 – Балка Широка, Au-Fe тип руд, Чортомлицька структура; 4 – Балка Широка, Au-Ag-Pb-Zn тип руд, Чортомлицька структура; ранній протерозой (Інгульський мегаблок): 5 – Східно-Юріївське родовище, (Au) малосульфідна золото-кварцова формація; 6 – Новокосянтинівське родовище (U); 7 – Северинівське родовище (U); 8 – Ватутінське родовище (U). Позначення мінералів і номера родовищ однакові на всіх рисунках.

Рис. 2. Діаграма залежності $\delta^{18}\text{O}$ від мольної частки CO_2 флюїдних включень. Пунктирні лінії на рис. 2 і 3 обмежують поля родовищ архейського (I) і ранньопротерозойського (II) віку

У протерозойських родовищах молярна частка CO_2 і $\delta^{13}\text{C}$ нижча (див. рис. 2, 3), а частка органічної складової значно вища, на що вказують значення $\delta^{13}\text{C}$ у флюїді. Ми вважаємо, що первісною причиною еволюції флюїду мінералоутворення в ранньому протерозої є збагачення атмосфери киснем, що, в свою чергу, зумовило зміни умов седиментогенезу [8–11]. На початку раннього протерозою (після 2500 млн років) різко знизилась концентрація вуглекислого газу в атмосфері, а в гідросферу надходили величезні маси магnezіально-кальцієвих карбонатів і утворилися найпотужніші товщі хомогенних та органогенних карбонатних порід, описані для більшості докембрійських утворень світу. Отримані нами результати також показують зниження мольної частки CO_2 у ранньопротерозойських флюїдах. Це, у свою чергу, за рахунок зниження концентрації вуглекислого газу, призвело до збільшення вмісту в ньому важкого ізотопу кисню ^{18}O (див. рис. 2). Збільшення ж діапазону значень ізотопного складу кисню CO_2 в напрямку зниження значень $\delta^{18}\text{O}$, ймовірно, пов'язано з проникненням в мінералоутворюючий флюїд метеорних вод з низьким вмістом важких ізотопів, що було зумовлено заледенінням у ранньому протерозої [12].

Ізотопний склад кисню CO_2 знаходиться в рівновазі з водою флюїду, його $\delta^{18}\text{O}$ повністтю визначається ізотопним складом кисню води через низьку мольну частку CO_2 . Основна маса води гідросфери зосереджена в океані, тому й ізотопний склад флюїдів мінералоутворення перебуває у зв'язку з океаном [13]. Нами не виявлено відмінностей ізотопного складу водню води флюїду ГРВ архею і протерозою (рис. 4). Це вказує на те, що між археєм і

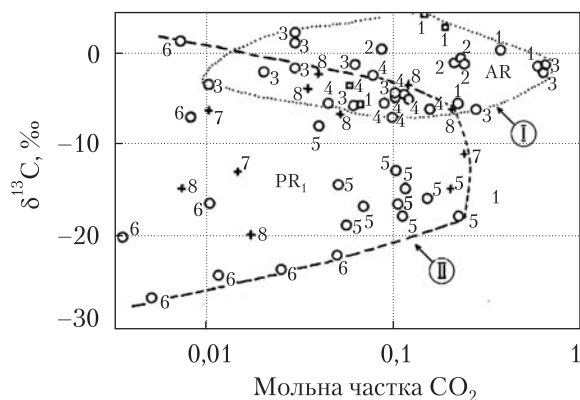


Рис. 3. Діаграма залежності $\delta^{13}\text{C}$ від мольної частки CO_2 флюїдних включень

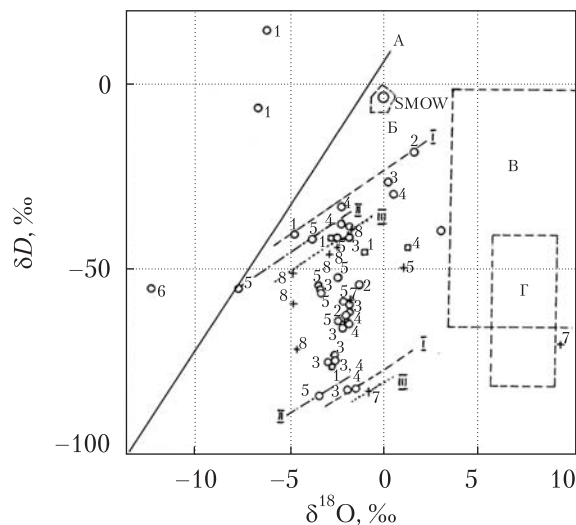


Рис. 4. Діаграма $\delta\text{D} - \delta^{18}\text{O}$ H_2O флюїдних включень в мінералах родовищ Au і U докембрію Українського щита. Граничні лінії: I – архей, Сурська і Чортомлицька золотоносні структури Придніпров'я (1–4); II – протерозой, Східно-Юріївське родовище золото-кварцової формації (5); III – протерозой, родовища урапорудних альбітитів (6–8). А – лінія метеорних вод; Б – океанічні води; В – метаморфічні води; Г – магматичні води

протерозоєм помітних змін у масі та ізотопному складі водню води океану не відбувалося. Савін і Епштейн [14] вважають, що процеси седиментації не могли спричинити помітної зміни ізотопного складу кисню і водню води океану за всю історію Землі. Отже, зміни в ізотопному складі кисню води флюїду ГРВ між епохами пов'язані не зі змінами води океану, а з іншими процесами. Швидше за все підвищення вмісту ^{18}O в CO_2 флюїду в протерозой щодо архею пояснюється зниженням мольної частки CO_2 (див. рис. 1–3). Альтернативне пояснення полягає в залученні в зону літогенезу океанічних осадків, збагачених карбонатами з підвищеним вмістом ^{18}O у процесі тектоніки плит.

Як відомо, на рубежі архею—раннього протерозою (2,45–1,85 млрд років тому) в атмосфері підвищився вміст кисню [1–3]. А за нашими даними, в цей самий час відбулися помітні зміни складу флюїдів мінералоутворення, а саме розширення діапазону $\delta^{18}\text{O}$ CO_2 флюїду і зниження вмісту вуглекислого газу та важких ізотопів вуглецю в ньому.

Ми вважаємо, що саме в результаті еволюції зовнішніх оболонок Землі, що супроводжувалося в глобальному масштабі зміною газового складу атмосфери з безкисневого на істотно кисневий на рубежі архей—ранній протерозой, змінилися ендегенні процеси рудо- і мінералоутворення.

ЦИТОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Holland H. D. Volcanic gases, black smokers, and the Great Oxidation Event. *Geochim. Cosmochim. Acta*. 2002. **66**. P. 3811–3826.
2. Lyons T. W., Reinhard C. T., Planavsky N. J. The rise of oxygen in Earth's early ocean and atmosphere. *Nature*. 2014. **506**. P. 307–315.
3. Bekker A. Great Oxygenation Event. *Encyclopedia of astrobiology*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2014. P. 1009–1017. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-642-27833-4_1752-4

4. Демихов Ю.Н., Фомин Ю.А., Шибецкий Ю.А. Природа воды гидротермальных флюидов урановых и золоторудных месторождений. *Допов. Нац. акад. наук Укр.* 1997. № 6. С. 134–138.
5. Демихов Ю.Н., Фомин Ю.А. Природа воды древних рудообразующих флюидов. XVI симпозиум по геохимии изотопов. *Тез. докл. XIV симпозиума по геохимии изотопов, ГЕОХИ.* Москва, 2001. С. 69–70.
6. Фомин Ю.А. Изотопный состав компонентов флюидных включений в месторождениях золота и урана докембрия Украинского щита. *Зб. наук. праць Інституту геохімії навколишнього середовища.* 2012. Вип. 20. С. 11–29.
7. Фомин Ю.А., Демихов Ю.Н., Лазаренко Е.Е. Модель эволюции рудообразующей флюидной системы Севериновского месторождения урана (Украинский щит). *Зб. наук. праць Інституту геохімії навколишнього середовища.* 2003. Вип. 8. С. 169–178.
8. Верховцев В.Г., Лисиченко Г.В., Забулонов Ю.Л. та ін. Перспективи розвитку уранової сировинної бази ядерної енергетики України. Київ: Наук. думка, 2014. 356 с.
9. 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.
10. Коржнев М.Н., Фомин Ю.А. Эволюция условий накопления пород криворожской серии по геохимическим и изотопным данным. *Геол. журн.* 1992. № 3. С. 93–99.
11. Верховцев В.Г., Кузьмін А.В., Ярощук М.О. та ін. Перспективи розвитку торієвої сировинної бази ядерної енергетики України. Київ: Наук. думка, 2017. 270 с.
12. Young G.M. Evolution of Earth's climatic system: Evidence from ice ages, isotopes, and impacts. *GSA Today.* 2013. **23**, № 10. P. 4–10.
13. Taylor H.P. The application of oxygen and hydrogen isotope studies to problems of hydrothermal alteration and ore deposition. *Econ. Geol.* 1974. **69**. P. 843–883.
14. Savin S.M., Epstein S. The oxygen and hydrogen isotope geochemistry of ocean sediments and shales. *Geochim. Cosmochim. Acta.* 1970. **34**. P. 42–63.

Надійшло до редакції 15.03.2018

REFERENCES

1. Holland, H. D. (2002). Volcanic gases, black smokers, and the Great Oxidation Event. *Geochim. Cosmochim. Acta.*, 66, pp. 3811-3826.
2. Lyons, T. W., Reinhard, C. T. & Planavsky, N. J. (2014). The rise of oxygen in Earth's early ocean and atmosphere. *Nature*, 506, pp. 307-315.
3. Bekker, A. (2014). Great Oxygenation Event. *Encyclopedia of astrobiology* (pp. 1009-1017). Berlin, Heidelberg: Springer. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-642-27833-4_1752-4
4. Demikhov, Yu. N., Fomin, Yu. A. & Shibetsky, Yu. A. (1997). Nature of water of hydrothermal fluids of uranium and gold ore occurrences. *Dopov. Dopov. Nac. acad. nauk Ukr.*, No. 6, pp. 134-138 (in Russian).
5. Demikhov, Yu. N. & Fomin, Yu. A. (2001). Nature of water of ancient ore-forming fluids. In the book. XVI Symposium on the Geochemistry of Isotopes. Proceedings of XIV symposium on the geochemistry of isotopes, ГЕОХИ (pp. 69-70). Moscow (in Russian).
6. Fomin, Yu. A. (2012). Isotopic composition of components of fluid inclusions in the deposits of gold and uranium of the Precambrian of the Ukrainian Shield. *Collected scientific papers of the Institute of Environmental Geochemistry*, Iss. 20, pp. 11-29 (in Russian).
7. Fomin, Yu. A., Demikhov, Yu. N. & Lazarenko, E. Ye. (2003). Evolution of the ore-forming fluid system of the Severinovskoye uranium deposit (Ukrainian Shield). *Collected scientific papers of the Institute of Environmental Geochemistry*. Iss. 8, pp. 169-178 (in Russian).
8. Verkhovtsev, V.G., Lysychenko, H. V., Zabulonov, Yu. L. et al. (2014). Prospects for the development of the uranium raw materials base of nuclear energy of Ukraine. *Kiev: Naukova dumka* (in Ukrainian).
9. Fomin, Yu. A. & Demikhov, Yu. N. (2008). Isotopic composition of carbon and sulfur of Early Proterozoic rocks of the central part of the Ukrainian Shield. *Dopov. Nac. acad. nauk Ukr.*, No. 7, pp. 123-129 (in Russian).
10. Korzhnev, M. N. & Fomin, Yu. A. (1992). Evolution of the conditions for the accumulation of rocks of the Krivoy Rog series on geochemical and isotopic data. *Geol. J.*, No. 3, pp. 93-99 (in Russian).

11. Verkhovtsev, V. G., Kuzmin, A. V., Yaroshchuk, M. O. et al. (2017). Prospects for development of the thorium raw material base of nuclear energy of Ukraine. Kiev: Naukova Dumka (in Ukrainian).
12. Young, G. M. (2013). Evolution of Earth's climatic system: Evidence from ice ages, isotopes, and impacts. *GSA Today*, 23, No. 10, pp. 4-10.
13. Taylor, H. P. (1974). The application of oxygen and hydrogen isotope studies to problems of hydrothermal alteration and ore deposition. *Econ Geol.*, 69, pp. 843-883.
14. Savin, S. M. & Epstein, S. (1970). The oxygen and hydrogen isotope geochemistry of ocean sediments and shales. *Geochim. Cosmochim. Acta.*, 34, pp. 42-63.

Received 15.03.2018

Ю.А. Фомин, Ю.Н. Демихов, В.Г. Верховцев, Н.Н. Борисова

ГУ "Институт геохимии окружающей среды НАН Украины", Киев

E-mail: y_demikhov@ukr.net

ФЛЮИДЫ МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИЯ КАК ИНДИКАТОР ЭВОЛЮЦИИ ВНЕШНИХ ОБОЛОЧЕК РАННЕГО ДОКЕМБРИЯ ЗЕМЛИ

На основании изотопно-геохимического изучения флюида газовой-жидких включений сделан вывод, что эволюция внешних оболочек Земли, выраженная в глобальном масштабе изменением газового состава атмосферы с бескислородного на существенно кислородный на границе архей—ранний протерозой, привела к изменению эндогенных процессов рудо- и минералообразования.

Ключевые слова: архей, протерозой, минералообразующий флюид, изотопный состав, месторождения золота и урана, зеленокаменные области, Украинский щит.

Yu.A. Fomin, Yu.N. Demikhov, V.G. Verkhovtsev, N.N. Borisova

Institute of Environmental Geochemistry of the NAS of Ukraine, Kiev

E-mail: y_demikhov@ukr.net

MINERAL-FORMING FLUIDS AS AN INDICATOR OF THE EVOLUTION OF EXTERNAL SHELLS OF THE EARLY PRECAMBRIAN OF THE EARTH

Based on the isotope-geochemical study of the fluid of gas-liquid inclusions, it is concluded that the evolution of the outer shells of the Earth, expressed globally, by a change in the gas composition of the atmosphere from the oxygen-free to oxygen-rich one at the boundary of the Archaean—Early Proterozoic, led to a change in the endogenous processes of ore and mineral formations.

Keywords: Archaean, Proterozoic, mineral-forming fluid, isotopic composition, deposits of gold and uranium, greenstone areas, Ukrainian Shield.