

ОЦІНКА ЄВРОПІЄВОЇ АНОМАЛІЇ В СПЕКТРАХ ЛАНТАНОЇДІВ НОДУЛЯРНОГО МОНАЦИТУ З ФІЛІТОПОДІБНОГО СЛАНЦЮ СКЕЛЮВАТСЬКОЇ СВІТИ (КРИВОРІЗЬКИЙ ЗАЛІЗОРУДНИЙ БАСЕЙН)

Іван Михальченко

доктор геологічних наук

Лариса Заборовська

кандидат геологічних наук

Юрій Литвиненко

Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища Національної академії наук України», Україна, 03142, м. Київ, просп. Академіка Палладіна 34-а

За оцінками середніх арифметичних європієвої аномалії ядерна (чиста) зона нодулярного монациту (1,02) відрізняється від проміжної (0,22) й зовнішньої (0,39) зон зерна, так і включення детрітового монациту в ядерній зоні (0,67). Найбільш імовірною причиною зонального розподілу європію в зерні нодулярного монациту вважається кристалохімічна диференціація лантанодів в процесі кристалізації вихідного гелю, який складався, головню, із сполук фосфору й сполук лантанодів.

Ключові слова: нодулярний монацит, детрітовий монацит, європієва аномалія.

EVALUATION OF THE EUROPEAN ANOMALY IN THE LANTHANIDE SPECTRA OF NODULAR MONAZITE FROM THE PHYLLITE-LIKE SLATE OF THE SKELYUVATSKA SUITE (KRYVYY RIH IRON ORE BASIN)

Ivan Mihalchenko

Doctor of Geological Sciences

Larysa Zaborovska

Candidate of Geological Sciences

Yuriy Lytvynenko

State Institution "The Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine", Kyiv, Ukraine, 03142, Kyiv, Palladin Av. 34-A

According to the arithmetic mean estimates of the europium anomaly, the core (pure) zone of nodular monazite (1.02) differs from the intermediate (0.22) and outer (0.39) zones of the grain, as well as the detrital monazite inclusion in the nuclear zone (0.67). The most likely cause of the zonal distribution of europium in the monazite grain is considered to be the crystallochemical differentiation of lanthanides during the crystallization of the initial gel, which consisted mainly of phosphorus compounds and lanthanide compounds.

Key words: nodular monazite, detrital monazite, europium anomaly.

Вступ. У попередній публікації ми повідомили про виявлення зонального зерна монациту в зразку філітоподібного сланцю скелюватської світи докембрійської криворізької серії, який було відібрано із розрізу цієї серії у Південному кар'єрі Криворізького залізрудного басейну (далі, також –

Кривбас) [1]. За особливостями внутрішньої будови й хімічного складу цього зерна монациту, результатів петрографічних й мінералогічних досліджень уміщуючої породи, порівняння отриманих даних з результатами досліджень попередниками нодулярних монацитів з слабо метаморфізованих порід інших геологічних розрізів світу нами було зроблено висновок про метаморфічний генезис цього зонального зерна, тобто вперше в історії досліджень розрізу криворізької серії Кривбасу було доведено наявність метаморфогенного монациту в породах цієї серії, що дає можливість для застосування методів радіогеохронології задля оцінки вікового періоду прояву метаморфогенного фактору залізо-кремнистої формації Кривбасу що, до відкриття нодулярного монациту в породі криворізької серії, було невирішеною проблемою. Дослідження особливостей варіації оцінок європейської аномалії в зернах мінералів проводиться в контексті реконструкції фізико-хімічних умов прояву метаморфогенного металогенічного фактору.

Огляд літератури. Результати дослідження хімічного аналізу зерен монацитів наведено в чисельних публікаціях, зокрема, [2, 3, 4], з яких в роботах [3, 4] висвітлено результати дослідження хімічного складу зерен нодулярних монацитів. В публікації [5] наведено спайдер-діаграми монацитів з порід різного генезису, у тому числі метаморфічних гранітоїдів (“metamorphic granitoids” [5]), з чого можна зробити припущення про існування в “метаморфічних гранітоїдах” монацитів із негативною європейською аномалією й монацитів без європейської аномалії.

Об’єкт дослідження – зерно нодулярного монациту із зразку філітоподібного сланцю скелюватської світи криворізької серії з Південного кар’єру Криворізького залізорудного басейну. **Предмет дослідження** – варіація оцінок європейської аномалії спектрів лантаноїдів із зон нодулярного монациту. **Мета дослідження** – розрахувати оцінки європейської аномалії спектрів лантаноїдів в зонах нодулярного монациту й виявити особливості розподілу цих оцінок.

Методика й матеріали дослідження. Оцінки європейської аномалії (Eu/Eu^*) було виконано за формулою:

$$Eu/Eu^* = Eu_N / (Sm_N \cdot Gd_N)^{1/2}$$

де: Eu - виміряна масова частка європію в зразку, Eu^* - оцінка значення теоретичної масової частки європію в зразку, яке розраховано на основі безперервного спектру із сусідніми елементами із групи лантаноїдів; Eu_N , Sm_N , Gd_N – нормовані значення виміряних масових часток цих хімічних елементів в хімічному складі зразку на відповідні оцінки масових часток європію, самарію й гадолінію в хондриті (з [6]). Розрахунки виконано за авторськими даними 23

вимірів хімічного складу нодулярного монациту, які наведено в [1]. Перший й останній аналізи було виконано в крайовій частині зерна, тому вони в результатах дослідження не наведено. Розрахунок Eu/Eu^* виконано для окремо кожного хімічного аналізу. Оцінки середніх арифметичних розраховано для груп аналізів із зон нодулярного монациту, які було виокремлено [1].

Результати дослідження. Спайдер-діаграми вимірів лантаноїдів в зонах нодулярного монациту наведено на рисунку. Оцінки Eu/Eu^* наведено для аналізів (перше цифров значення – номер аналізу за [1], друге – оцінки Eu/Eu^*):

Включення детрітового монациту в ядерній зоні нодулярного монациту: 10 – 0,61; 11 – 0,49; 12 – 1,41; 13 – 0,16; середнє арифметичне – 0,67.

Ядерна (чиста) зона: 7 – 0,70; 8 – 1,36; 9 – 1,07; 14 – 0,28; 15 – 1,68; середнє арифметичне – 1,02.

Проміжна зона: 6 – 0,08, 16 – 0,54, 17 – 0,04; середнє арифметичне – 0,22.

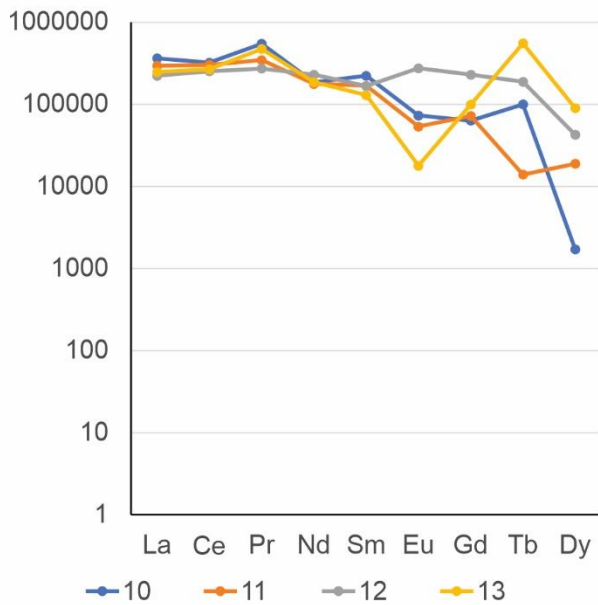
Зовнішня зона: 2 – 0,09, 3 – 0,10; 4 – 0,05; 5 – 0,06; 18 – 0,96; 19 – 0,16; 20 – 0,74; 21 – 1,24; 22 – 0,09; середнє арифметичне – 0,39.

Обговорення результатів дослідження. Усі виокремлені групи вирізняються високою варіабельністю оцінок Eu/Eu^* , що є наслідком нерівномірності розповсюдження іонів Eu як об'ємі зерна нодулярного монациту, так і в об'ємі кожної зони (див. [3, 4]). Однак за оцінками середніх арифметичних Eu/Eu^* ядерна (чиста) зона монациту (1,02) відрізняється як від від проміжної (0,22) й зовнішньої (0,39) зон зерна, так і детрітове включення в ядерній зоні (0,67), що є наслідком зонального розподілу Eu в об'ємі зерна монациту.

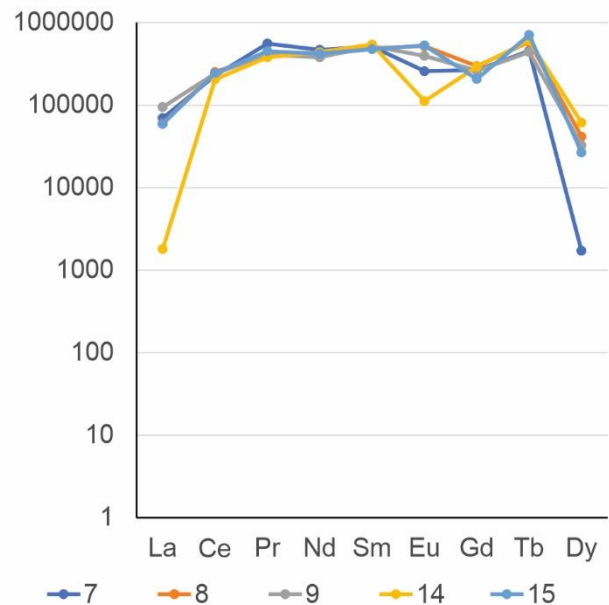
Оскільки нами не виявлено ознак пневматоліто-гідротермального перетворення філітоподібного сланцю, то найбільш вірогідною причиною утворення нодулярного монациту була первинна концентрація Р у формі гелю за процесів утворення ще первинної осадової верстви (зараз це – філітоподібний сланець) у відновному середовищі, головним чинником чого був лантаноїдний геохімічний бар'єр для рухомих сполук Р, та наступної кристалізації монациту за метаморфізму (можливо, через рабдофанову фазу за процесів діагенезу й катагенезу). Найбільш імовірною причиною зонального розподілу Eu в зерні нодулярного монациту ми вважаємо кристалохімічну диференціацію лантаноїдів в процесі кристалізації вихідного гелю за метаморфічного перетворення первинної осадової породи (не виключається диференціація ще за процесів діагенезу).

Висновки: 1. Зони нодулярного монациту характеризуються високою варіабельністю оцінок європейської аномалії. 2. За оцінками середніх арифметичних європейської аномалії ядерна (чиста) зона монациту (1,02)

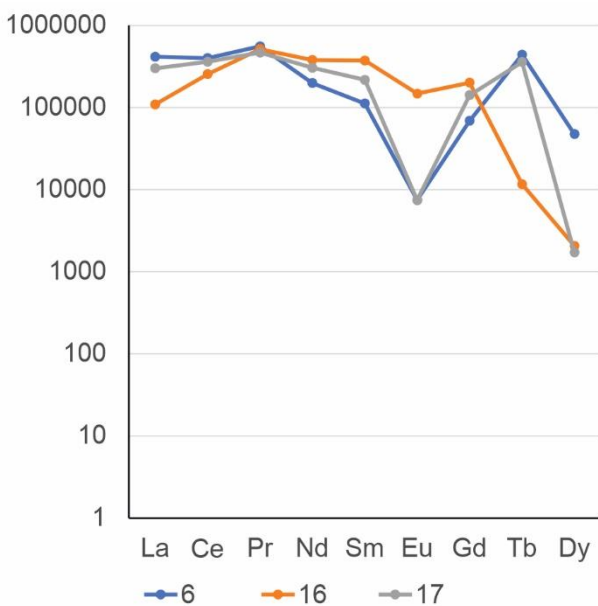
відрізняється від проміжної (0,22) й зовнішньої (0,39) зон зерна, так і детрітового включення в ядерній зоні (0,67).



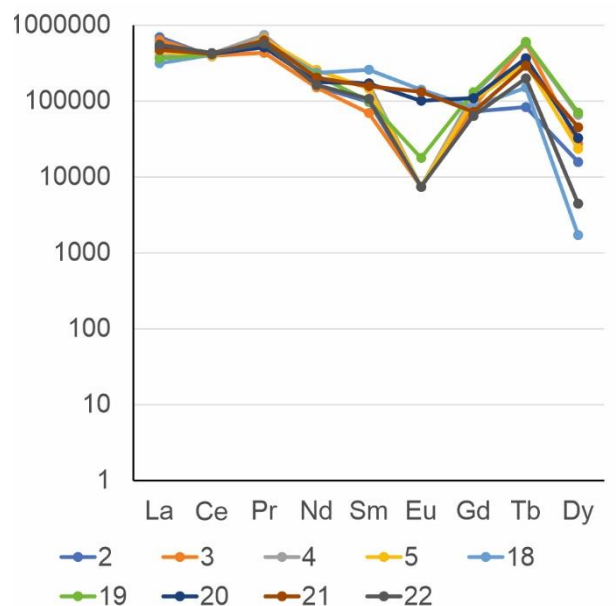
а



б



в



г

Рисунок. 1. Спайдер-діаграми лантаноїдів в зонах нодулярного монациту. По осі абсцис – хімічні елементи групи лантаноїдів, по осі ординат – мінерал/хондрит. Зони нодулярного монациту: а – детрітове включення в ядерній зоні; б – ядерна (чиста); в – проміжна; г – зовнішня (класифікація за [1]). Номерні позначення ліній спайдер-діаграм відповідають номерам аналізів таблиці з [1]

3. Найбільш імовірною причиною зонального розподілу Європію в зерні нодулярного монациту вважається кристалохімічна диференціація лантаноїдів в процесі кристалізації вихідного гелю, який складався, головню, із сполук фосфору й сполук лантаноїдів.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Михальченко І.І., Заборовська Л.П., Литвиненко Ю.О. Перша знахідка нодулярного монациту в філітоподібному сланці з вміщуючих порід докембрійської залізо-кремністої формації Українського щита. Збірка тез конференції «Від Мінералогії і Геогнозії до Геохімії, Петрології, Геології та Геофізики: фундаментальні і прикладні тренди ХХІ століття» (MinGeoIntegration XXI - 2024), 25-27 вересня 2024 року, ННІ «Інститут геології» Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Київ, 2024. Сс. 33-36.
2. Bea F. Residence of REE, Y, Th and U in Granites and Crustal Protoliths; Implications for the Chemistry of Crustal Melts. *Journal of Petrology*, 1996. № 37(3), pp. 521-552.
3. Čopjaková R., Novák M., Franců E. Formation of authigenic monazite-(Ce) to monazite-(Nd) from Upper Carboniferous graywackes of the Drahany Upland: Roles of the chemical composition of host rock and burial temperature. *Lithos*, 2011. № 127 (1-2), pp.373–385.
4. Lazareva E. V., Zhmodik S. M., Prokopiev A. V., Karmanov N. S., Sergeenko A. I. Nodular monazite from placers in the Kular Ridge (Arctic Siberia, Russia): Composition and age. *Russian Geology and Geophysics*, 2018. V. 59(10), pp.1330–1347.
5. Williams M.L., Jercinovic M.J., Hetherington C.J., Microprobe monazite geochronology: understanding geologic processes by integrating composition and chronology. *Annual Reviews of Earth and Planetary Sciences*, 2007. 35, 137–175.
6. Sun S.-s., McDonough W.F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. *Magmatism in the Ocean Basins, Geological Society Special Publication*, 1989. no. 42, pp. 313-345.