

Л. В. Шумлянський

Ізотопний склад гафнію в цирконах, виділених з порід Томашгородського та Букинського комплексів

(Представлено членом-кореспондентом НАН України О. М. Пономаренком)

Наведено результати досліджень ізотопного складу гафнію в цирконах, виділених з порід Букинського плутону ($\varepsilon_{\text{Hf}} = 0,8 \pm 0,7$), Томашгородської дайки ($\varepsilon_{\text{Hf}} = 2,0 \pm 1,0$), а також Каменського ($\varepsilon_{\text{Hf}} = 1,6 \pm 1,3$) й Прутівського ($\varepsilon_{\text{Hf}} = 5,5 \pm 0,8$) масивів, які збігаються в цілому з висновками, отриманими при вивченні Rb–Sr і Sm–Nd ізотопних систем. Ізотопний склад гафнію в цирконах, виділених з порід Прутівського й Каменського масивів, а також з долеритів Томашгородської дайки вказує на походження розплавів за рахунок плавлення деплетованої мантії. При цьому вихідні розплави Каменського масиву та Томашгородської дайки зазнавали деякої контамінації коровим матеріалом. Дані ізотопії також свідчать про відсутність генетичних зв'язків між вихідними розплавами Прутівського й Каменського масивів та Томашгородської дайки з одного боку, і Букинського плутону — з іншого.

З розвитком сучасного аналітичного обладнання, зокрема мультиколекторної мас-спектрометрії індуктивно-зв'язаної плазми (МС ICP-MS), вивчення ізотопного складу гафнію в гірських породах та мінералах представляє все більший інтерес для дослідників. Найбільш придатним для таких досліджень є циркон, чому сприяють такі фактори. По-перше, вік циркону можна визначити з великою точністю за допомогою U–Pb методу, у тому числі з використанням сучасних методик локального аналізу: мас-спектрометрії вторинних іонів (SIMS), або МС ICP-MS з приставкою лазерної абляції (LA ICP-MS). По-друге, циркон зазвичай містить в собі велику кількість (близько 1%) гафнію — дочірнього елементу у парі лютецій — гафній, в той час як материнський елемент (лютецій) відзначається на рівні перших десятків і сотень грамів на тонну, що зазвичай дозволяє нехтувати поправками на радіоактивний розпад. Тобто, ізотопний склад гафнію в сучасних цирконах наближається до того складу, який існував в магматичному розплаві під час його кристалізації, навіть якщо ця подія відбувалася кілька мільярдів років тому. Відзначимо також, що циркон є дуже стійким до вторинних змін. Особливо це стосується гафнію, який ізоморфно заміщує цирконій в кристалічній ґратці цього мінералу і є стійким до процесів ізотопного обміну з навколишнім середовищем.

При дослідженні ізотопного складу гафнію вимірюється відношення ізотопів $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$, з яких ізоотоп ^{176}Hf є продуктом β^- -розпаду ^{176}Lu . Гафній, у порівнянні з лютецієм, є більш несумісним (некогерентним) у процесах плавлення мантіїної речовини і, отже, має тенденцію нагромаджуватись з часом у коровій речовині. В цьому відношенні Lu–Hf система є аналогічною до Sm–Nd, в якій дочірній елемент також нагромаджується в магматичному розплаві, завдяки чому з плином часу його вміст у земній корі зростає, що призводить до менш радіогенного ізотопного складу цього елемента, а в деплетованій мантії — скорочується, тому дочірній елемент мантіїного походження є більш радіогенним.

Подібно до неодиму, ізотопний склад гафнію прийнято виражати за допомогою величини ε , яка відображає відмінність перерахованого на момент кристалізації ізотопного складу

гафнію в досліджуваній речовині від ізотопного складу цього елемента в модельному середовищі — універсальному хондритовому резервуарі (CHUR). Подібно до величини ϵ_{Nd} , величина ϵ_{Hf} близько 0 вказує на кристалізацію цирконів з розплаву, ізотопний склад гафнію в якому наближувався до ізотопного складу цього елемента в недеплетованій мантії. Позитивні величини ϵ_{Hf} характерні для деплетованого мантійного джерела, в той час як негативні — для розплавів корового генезису [1].

Методика досліджень. Результати аналізів, наведених у данному повідомленні, виконано в лабораторії відділу наук про Землю Брістольського університету з використанням лазера ArF 193 нм та багатоколекторного ICP-MS Finnigan Neptune. Абляцію проведено в атмосфері гелію (швидкість потоку $\sim 1,3$ л/хв) та аргону ($\sim 0,9$ л/хв). На вході до плазмової горілки додавали невелику ($\sim 0,005$ л/хв) кількість азоту, що дало змогу запобігти утворенню кисневих сполук. Зразки цирконів випарювали за допомогою лазерного пучка розміром в 50 мкм (частота пульсів 4 Гц) протягом 60 с. Потужність пучка дорівнювала близько 6–7 мДж/см² [1], що відповідає швидкості „свердлення” зразка циркону на рівні 0,5–1,0 мкм/с.

Результати досліджень. Для досліджень було використано ті самі препарати цирконів, що раніше використовувались для датування методом мас-спектрометрії вторинних іонів. У міру можливості, лазерну абляцію проводили в тих саме місцях, в яких було отримано ізотопні дані за U–Th–Pb системою. Автором досліджено ізотопний склад гафнію в цирконах, виділених з порід Томашгородської дайки долеритів, а також Прутівського та Каменського розшарованих габроїдних масивів. Результати дослідження U–Pb ізотопного віку цих цирконів викладено в роботі [2]. Крім того, для порівняння досліджувався ізотопний склад гафнію в цирконах, виділених з порід Букинського плутону, результати датування яких наведено в монографії [3]. Згідно з цими даними, кристалізація долеритів Томашгородської дайки відбувалась ($1790,3 \pm 4,3$) млн років тому, Прутівського масиву — ($1777,0 \pm 4,7$) млн років тому, порід Каменського масиву — близько 1788 млн років тому, а Букинського плутону — ($1987,5 \pm 5,8$) млн років тому.

Згідно з результатами дослідження ізотопного складу гафнію в цирконах, величини ϵ_{Hf} (табл. 1), що перераховані на час кристалізації, становлять: для цирконів з Томашгородської дайки $2,0 \pm 1,0$; Каменського масиву: $1,6 \pm 1,3$; для цирконів з Прутівського інтрузиву $5,5 \pm 0,8$; для цирконів з Букинського масиву $0,8 \pm 0,7$. Як видно, ізотопний склад гафнію в цирконах у цілому підтверджує дані, отримані для цих магматичних утворень за допомогою інших ізотопних методів [4–7]. Зокрема, позитивні величини ϵ_{Hf} у цирконах, виділених з Прутівського й Каменського масивів, а також Томашгородської дайки, вказують на походження вихідних розплавів з деплетованої мантії. На відміну від Sm–Nd та Rb–Sr ізотопних систем, ізотопний склад гафнію в цирконах, виділених з Прутівського масиву, виявляється значно більш радіогенним, ніж в цирконах з Каменського масиву та Томашгородської дайки. Це може свідчити як про відмінність їх джерел (більш деплетована мантія у випадку Прутівського масиву), так і про різний ступінь контамінації коровим матеріалом (вихідні розплави Каменського масиву та Томашгородської дайки є більш контамінованими). В той самий час ізотопний склад гафнію в цирконах з Букинського масиву є значно менш радіогенним, ніж у породах Прутівського й Каменського масивів та Томашгородської дайки. Ще більш очевидно стає відмінність між ізотопним складом гафнію в цирконах з Букинського плутону та в базитах Прутівського й Каменського масивів і Томашгородської дайки, якщо перерахувати їх на один і той самий час, наприклад на час формування Букинського плутону (1987 млн років). У цьому разі величина ϵ_{Hf} у цирконах, виділених з порід

Таблиця 1. Результати дослідження ізотопного складу гафнію в цирконах, виділених з порід Букинського плутону (проби ПНР-1-05 та ПТ-2-05), а також Томашгородської дайки, Каменського й Прутівського масивів

Зразок проби	Виміряні відношення			Величини, перераховані на вік кристалізації			
	$^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Yb}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}_T$	$\varepsilon_{\text{Hf}_T}$	$\pm 2\sigma$	T(DM), млн р.
Букинський масив							
ПНР-1-05	0,000538 ± 11	0,018964	0,281553 ± 7	0,281547 ± 7	1,2	0,5	2330 ± 10
	0,000590 ± 16	0,019492	0,281533 ± 13	0,281525 ± 13	0,4	0,9	2359 ± 19
	0,000568 ± 25	0,020289	0,281536 ± 12	0,281529 ± 12	0,5	0,8	2354 ± 18
	0,000514 ± 6	0,018391	0,281560 ± 18	0,281554 ± 18	1,5	1,3	2319 ± 25
	0,000616 ± 8	0,022818	0,281562 ± 19	0,281553 ± 19	1,4	1,4	2322 ± 26
ПТ-2-05	0,000525 ± 22	0,018965	0,281520 ± 10	0,281514 ± 10	0,0	0,7	2373 ± 15
	0,000524 ± 16	0,018298	0,281537 ± 19	0,281531 ± 19	0,6	1,3	2351 ± 26
	0,000421 ± 16	0,014339	0,281565 ± 13	0,281563 ± 13	1,8	0,9	2307 ± 18
	0,000472 ± 27	0,016121	0,281514 ± 14	0,281510 ± 14	-0,1	1,0	2378 ± 20
	0,000468 ± 36	0,017162	0,281543 ± 37	0,281540 ± 37	0,9	2,7	2338 ± 53
Каменський масив							
	0,000099 ± 5	0,002683	0,281678 ± 19	0,281689 ± 19	1,6	1,3	2135 ± 26
Прутівський масив							
	0,008237 ± 353	0,263735	0,282085 ± 26	0,281821 ± 29	6,0	2,0	2006 ± 68
	0,007122 ± 213	0,252616	0,282010 ± 21	0,281784 ± 23	4,7	1,6	2059 ± 49
	0,010789 ± 22	0,386097	0,282174 ± 23	0,281824 ± 23	6,1	1,6	2022 ± 44
	0,009752 ± 157	0,347976	0,282114 ± 27	0,281799 ± 28	5,2	2,0	2057 ± 60
	0,010217 ± 198	0,382066	0,282146 ± 34	0,281815 ± 35	5,8	2,5	2033 ± 77
Томашгородська дайка							
	0,001900 ± 271	0,057296	0,281767 ± 26	0,281716 ± 28	2,6	2,0	2114 ± 52
	0,003318 ± 129	0,097309	0,281808 ± 44	0,281709 ± 44	2,3	3,1	2137 ± 72
	0,004613 ± 210	0,138205	0,281836 ± 26	0,281693 ± 27	1,7	1,9	2175 ± 53
	0,006642 ± 317	0,220360	0,281912 ± 45	0,281700 ± 46	2,0	3,3	2188 ± 94
	0,004802 ± 295	0,158827	0,281802 ± 42	0,281653 ± 43	0,3	3,1	2238 ± 84
	0,003466 ± 86	0,112424	0,281785 ± 62	0,281681 ± 62	1,3	4,4	2180 ± 97

Каменського масиву та Томашгородської дайки, варіює від +4,3 до +6,9, а в цирконах, виділених з Прутівського масиву, — від +8,6 до +9,7, що значно вище, ніж у цирконах з порід Букинського плутону (див. вище). Все це однозначно свідчить про відсутність генетичних зв'язків між вихідними розплавами Прутівського, Каменського й Томашгородського тіл, з одного боку, і Букинського плутону — з іншого.

Таким чином, ізотопний склад гафнію в цирконах, виділених з порід Прутівського й Каменського масивів, а також з долеритів Томашгородської дайки, вказує на походження розплавів за рахунок плавлення деплетованої мантії. Дані автора підтверджують відсутність генетичних зв'язків між вихідними розплавами Прутівського й Каменського масивів і Томашгородської дайки з та розплавами Букинського плутону.

1. *Hawkesworth C. J., Kemp A. I. S.* Using hafnium and oxygen isotopes in zircon to unravel the record of crustal evolution // *Chemical geology*. – 2006. – **226**. – P. 144–162.
2. *Шумлянський Л. В., Белоусова О. А., Елмінг С. О.* Нові відомості про ізотопний вік порід палеопротерозойської габро-долеритової асоціації Північно-Західного району Українського щита // *Мінерал. журн.* – 2008. – **30**, № 4. – С. 58–69.
3. *Щербак Н. П., Артеменко Г. В., Лесная И. М.* Геохронология раннего докембрия Украинского щита: Протерозой. – Киев: Наук. думка, 2008. – 240 с.

4. Шумлянський Л. В. Ізотопний склад стронцію, неодиму та сірки в породах Прутівського нікеленого інтрузиву, північний захід українського щита // Мінерал журн. – 2005. – **27**, № 1. – С. 57–63.
5. Шумлянський Л. В. Генезис порід і зруденіння Каменського розшарованого масиву, північний захід Українського щита // Доп. НАН України. – 2005. – № 12. – С. 133–136.
6. Шумлянський Л. В. Походження порід букинського комплексу (Північно-Західний район УЩ) згідно з Sm-Nd та Rb-Sr ізотопно-геохімічними даними // Мінерал. журн. – 2003. – **25**, № 2./3. – С. 59–66.
7. Шумлянський Л. В. Петрологія долеритів Томашгородської групи дайок (Український щит) // Там само. – 2008. – **30**, № 2. – С. 17–35.

Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення
ім. М. П. Семененка НАН України, Київ

Надійшло до редакції 14.11.2008

L. V. Shumlyanskyy

Hafnium isotopic composition in zircons separated from rocks of the Tomashgorod and Buky complexes

Results of investigation of the Hf isotopic composition in zircons separated from Buky massif ($\epsilon_{\text{Hf}} = 0.8 \pm 0.7$), Tomashgorod dyke ($\epsilon_{\text{Hf}} = 2.0 \pm 1.0$), Kamenka ($\epsilon_{\text{Hf}} = 1.6 \pm 1.3$) and Prutiivka ($\epsilon_{\text{Hf}} = 5.5 \pm 0.8$) massifs are reported. These results agree in general with those obtained by means of investigations of Rb–Sr and Sm–Nd isotopic systems, i. e.: the Hf isotopic composition in zircons separated from the Prutiivka and Kamenka massifs and the Tomashgorod dyke evidences about their origin due to melting the depleted mantle. Initial melts of the Kamenka massif and the Tomashgorod dyke experience some contamination with crustal material. These results evidence about the absence of genetic links between the initial melts of the Prutiivka and Kamenka massifs and the Tomashgorod dyke, on the one hand, and the Buky massif, on the other hand.