

татами, які проілюстровано в графічному вигляді (рис. 1). Даний підхід дозволяє виділити об'єкти із максимально сприятливими характеристиками для їх подальшого освоєння, збереження, утримання та навпаки, геологічні пам'ятки, які потребують найбільших витрат. За результатами бальної оцінки показників, об'єктами із максима-

льно сприятливими характеристиками визначені печери: Вертеба, Озерна, Оптимістична, Кришталева, а також каньйон долини р. Серет у с. Касперівці. Об'єктами, які потребують численних витрат при їх освоєнні, є Хотинські печери, печера Малишка Киянка і відслонення верхнього силуру в с. Скала-Подільська.

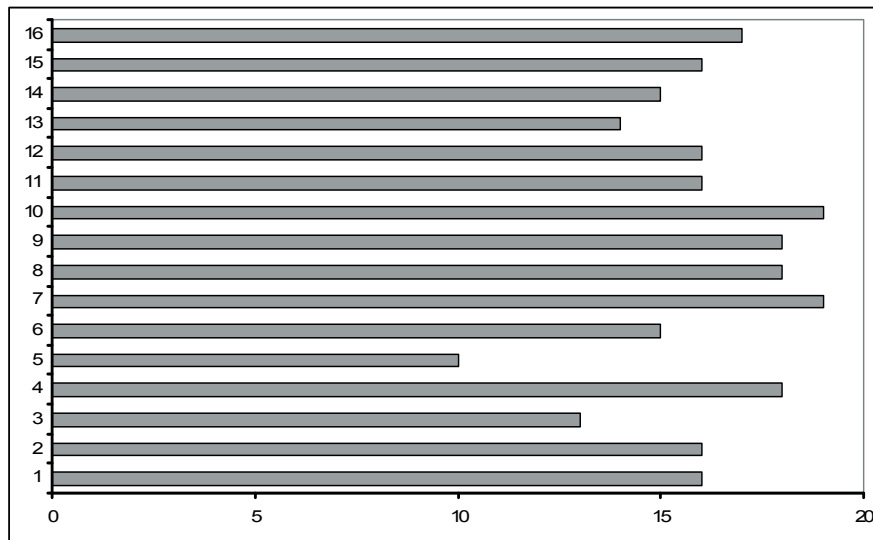


Рис. 1. Ранжування геологічних пам'яток за сумарною бальною оцінкою:

- 1 Атлантида, 2 Джурина, 3 Малишка Киянка, 4 Оптимістична, 5 Хотинські, 6 Угринь, 7 Вертеба, 8 Млинки, 9 Кришталева, 10 Озерна, 11 Кременецькі гори (горби-гори Черча, Замкова, Гостра, Дівочі скелі та ін.), 12 Подільські Товтри, 13 відслонення верхнього силуру в с. Скала-Подільська, 14 відслонення гіпсів тираської світи в с. Кривче, 15 каньйон долини р. Тула, 16 каньйон долини р. Серет у с. Касперівці

1. Безвинний В.П., Білецький С.В., Бобров О.Б. та ін. Геологічні пам'ятки України. – К., 2006. – Т. 1. 2 Геологические памятники Украины: Справочник-путеводитель / Н.Е. Коротенко, А.С. Щирица и др.; под ред. А.И. Зарицкого и др. – К., 1985. 3. Гриценко В.П., Іценко А.А., Русько

Ю.О., Шевченко В.І. Геологічні пам'ятки природи України: проблеми вивчення, збереження та раціонального використання. – К., 1995.

Надійшла до редколегії 20.03.11

## МІНЕРАЛОГІЯ, ГЕОХІМІЯ ТА ПЕТРОГРАФІЯ

УДК 552.323.1

Л. Шумлянський, канд. геол. наук

### ІЗОТОПНИЙ СКЛАД ГАФНІУ В ЦИРКОНАХ З АНОРТОЗИТ-РАПАКІВІГРАНІТНИХ МАСИВІВ УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол. наук, доц. С.Є. Шнюковим)

Наведено результати дослідження ізотопного складу гафнію в цирконах, виділених з порід Коростенського та Корсунь-Новомиргородського плутонів. У вихідних розплавах Коростенського плутону частка деплетованої мантіїної речовини була доволі суттєвою, але поступово скорочувалась з часом; на зміну їй приходила нижньокорова речовина. В джерелі вихідних розплавів Корсунь-Новомиргородського комплексу деплетована мантіїна речовина відіграла значно меншу роль, якщо взагалі була присутня. Основним джерелом служили відносно давні корові породи.

Paper deals with results of investigation hafnium isotopic composition in zircons separated from rocks of the Korosten and Korsun-Novomirgorod plutons. Initial melts of the Korosten pluton originated mainly from the depleted mantle; however, portion of the depleted mantle in the source region decreased with time in benefit of low-crustal material. In contrast, source of initial melts of the Korsun-Novomirgorod pluton did not contain any sufficient portion of the depleted mantle material. The source was represented by relatively old crustal rocks.

**Вступ.** Походження анортозит-рапаківігранітних комплексів є однією з найбільш актуальних проблем сучасної петрології. Ця проблема має принаймні два аспекти: (1) походження і природа первинних розплавів; (2) генетичні співвідношення між кислими та основними членами анортозит-рапаківігранітних асоціацій. Різними дослідниками пропонувались моделі, в яких джерелом, з якого виплавлялись первинні розплави, служив або мантіїний субстрат, або нижньокорова речовина, або ж залучались більш складні моделі, в яких первинні мантіїні розплави взаємодіяли з нижньокоровою речовиною (див., зокрема, [4]). Щодо співвідношення між основними і кислими членами анортозит-рапаківігранітних

комплексів, різними дослідниками стверджуються як генетичні зв'язки між ними, коли основні та кислі породи формуються в наслідок диференціації єдиного вихідного розплаву, склад якого еволюціонує в часі, так і когенетичні, коли основні і кислі породи формуються за рахунок кристалізації різних розплавів, що виникають і розвиваються внаслідок єдиного процесу (тектонічної дестабілізації літосфери, впливу "гарячої точки" тощо), але з різних, не пов'язаних один із одним, джерел.

Головними інструментами для розв'язання цих питань є наступні: польові геологічні спостереження, які дозволяють визначити співвідношення між головними членами анортозит-рапаківігранітних асоціацій; геохімічні, ізотопно-

геохімічні і геохронологічні дослідження, які дозволяють визначити послідовність вкорінення членів породних асоціацій, встановити тривалість процесу їх формування в цілому, та виявити певні генетичні зв'язки між ними; геофізичні, за допомогою яких можна отримати інформацію про глибинну будову анортозит-рапаківігранітних комплексів; експериментальні петрологічні дослідження, за допомогою яких можна змоделювати умови та процеси формування вихідних розплавів і їх подальшої еволюції.

Зазначимо також, що дослідження анортозит-рапаківігранітних комплексів має не лише велике теоретичне значення, але і цілком практичне, оскільки саме з цими комплексами пов'язані найбільш важливі з економічної точки зору поклади титанових руд; останнім часом анортозит-рапаківігранітні комплекси розглядаються також в якості потенційних джерел нікелю та елементів платинової групи, що пов'язане з відкриттям в різних регіонах світу родових зазначених металів, пов'язаних з основними породами цих комплексів.

Ця невеличка стаття присвячена результатам застосування одного із найбільш сучасних методів ізотопно-геохімічних досліджень, а саме – визначенню ізотопного складу гафнію в цирконах. Для досліджень автором використовувались циркони, вилучені з різноманітних за складом порід Коростенського та Корсунь-Новомиргородського плутонів. Вік цих порід визначався раніше методом мас-спектрометрії вторинних іонів, і частково опублікований в роботах [1–3].

Ізотопний склад гафнію, подібно до неодиму, прийнято виражати за допомогою величини  $\epsilon_{\text{Hf}}$ , яка характеризує ступінь відмінності ізотопного складу гафнію у досліджуваному матеріалі (в даному разі – у кристалі циркону) від ізотопного складу цього елемента в універсальному хондритовому резервуарі (CHUR), іншими словами – у недеплетованій мантії. У разі, коли величина  $\epsilon_{\text{Hf}}$  набуває позитивних значень, за джерело плавлення приймається деплетована мантія, і чим вище значення цієї величини, тим сильніше є ступінь деплекції. Якщо величина  $\epsilon_{\text{Hf}}$  набуває від'ємних значень, то джерелом плавлення є коровий матеріал, і чим більш низькими є значення, тим більш давнім є цей матеріал.

**Мета роботи:** визначити ізотопний склад гафнію в цирконах, виділених з різноманітних порід анортозит-рапаківігранітних масивів Українського щита та на підставі цього зробити припущення щодо їх походження.

**Методика досліджень.** Всі аналізи, результати яких наводяться в даній статті, були виконані в лабораторії відділу наук про Землю Брістольського університету з використанням лазеру 193 nm ArF та багатокolleкторно-го ICP-MS Finnigan Neptune.

**Результати досліджень.** Результати вимірів ізотопного складу гафнію в цирконах, вилучених з порід Коростенського (9 проб, включаючи одну пробу цирконів, вилучених з метаріолітів Овруцької западини) та Корсунь-Новомиргородського (6 проб) комплексів, наведені в таблиці 1 і на рис. 1.

Величина  $\epsilon_{\text{Hf}}$  в цирконах з найбільш ранніх базитових порід Коростенського плутону (так званих "давніх анортозитів", серія A<sub>1</sub>, за [6]) становить 0,1±0,4; аналогічні значення встановлені і в анортозитах Володарськ-Волинського масиву, що належать до анортозитів головної фази вкорінення (серія A<sub>2</sub>), в яких величина  $\epsilon_{\text{Hf}}$  становить 0,1–0,2±0,5. Слідом на анортозитами головної фази вкорінювались габроїдні породи [6]. Найбільш розповсюдженими є титаносні габроїди серії G<sub>4</sub>, до яких відносяться, зокрема, Торчинський і Федорівський масиви, а також масив Північна Слобідка, циркони з яких було досліджено автором. Циркони з Торчинського масиву та масиву Північна Слобідка мають навіть дещо більш високе значення величини  $\epsilon_{\text{Hf}}$ , ніж циркони з більш ранніх анортозитів (0,3±1,6 та 0,4±0,4 відповідно), хоча відмінність між ними є несуттєвою і знаходиться в межах аналітичної похибки. В той же час значення  $\epsilon_{\text{Hf}}$  в цирконах, виділених з габроїдів Федорівського масиву опускається до -0,8±1,4. В ранніх гранітоїдах північної частини плутону, розкритих кар'єром в с. Бондарі, величина  $\epsilon_{\text{Hf}}$  становить -1,0±1,0, а в дещо більш молодих ріолітах Овруцької западини становить -1,4±0,3. В той же час, в цирконах, вилучених з одного з найбільш пізніх проявів базитового магматизму в межах плутону – долеритового силу в с. Бондарі, величина  $\epsilon_{\text{Hf}}$  опускається до -3,5±0,5.

Таблиця 1

Ізотопний склад гафнію в цирконах, вилучених з порід Коростенського та Корсунь-Новомиргородського анортозит-рапаківігранітних плутонів

Номер на рис. 1	Номер проби	Вік, млн р	<sup>176</sup> Hf/ <sup>177</sup> Hf	<sup>176</sup> Lu/ <sup>177</sup> Hf	<sup>176</sup> Hf/ <sup>177</sup> Hf <sub>T</sub>	$\epsilon_{\text{Hf}}$	T(DM)Ma
<b>Коростенський плутон</b>							
1	A1	1781	0,281644±12	0,000160	0,281653±12	0,1±0,4	2184±17
2	Федор	1760	0,281703±8	0,001513	0,281667±24	0,2±0,5	2179±40
3	Горбул	1760	0,281669±7	0,000549	0,281664±7	0,1±0,5	2173±9
4	03–D18	1761	0,281676±29	0,000830	0,281671±46	0,3±1,6	2161±73
5	03–D24	1763	0,281682±17	0,000716	0,281671±15	0,4±0,4	2166±21
6	581	1763	0,281649±52	0,000743	0,281639±40	-0,8±1,4	2208±51
7	06–BG47	1750	0,281589±21	0,000967	0,281571±18	-3,5±0,5	2303±29
8	06–BG48–1	1780	0,281678±39	0,002259	0,281615±28	-1,0±1,0	2261±35
<b>Овруцька серія, збранківська світа</b>							
9	06–HB7	1761	0,281625±8	0,000491	0,281622±8	-1,4±0,3	2230±11
<b>Корсунь-Новомиргородський плутон</b>							
10	2004	1754	0,281605±39	0,001921	0,281580±19	-3,1±0,5	2295±31
11	2006	1758	0,281600±35	0,001109	0,281582±8	-2,9±0,5	2288±29
12	2008	1758	0,281572±20	0,000661	0,281565±23	-3,5±0,8	2308±36
13	06–BG1–1	1748	0,281624±33	0,001137	0,281598±25	-2,6±0,9	2269±34
14	06–BG4–1	1744	0,281620±44	0,000675	0,281592±22	-2,9±0,8	2283±23
15	06–BG5–1	1748	0,281614±17	0,001085	0,281589±25	-2,9±0,9	2276±40

**Примітка.** Проби: A1 – ксеноліти давніх анортозитів, район м. Малин (проба люб'язно надана О.В. Мітрохіним); Федор – пегматит кислого складу серед анортозитів Володарськ-Волинського масиву, кар'єр поблизу с. Паромівка; Горбул – пегматит кислого складу серед анортозитів Володарськ-Волинського масиву, кар'єр поблизу с. Горбулів; 03–D18 – с. Торчин, олівінове монцогабро; 03–D24 – масив Північна Слобідка, олівіновий габро-норит; 581 – габроїди Федорівського інтрузиву; 06–BG47 – субвулканічне тіло долеритів, кар'єр в с. Бондарі; 06–BG48–1 – граніт рапаківі, там же; 06–HB7 – метаріоліт, овруцька западина, с. Переброди; 2004 – анортозит, Носачівське родовище, сврдл. 2004; 2006 та 2008 – норити Носачівського родовища, сврдл. 2006 та 2008 відповідно; 06–BG1–1 – граніт рапаківі, м. Корсунь-Шевченківський; 06–BG4 – кварцовий лейкомонзоніт, с. Хлистунивка, кар'єр; 06–BG5–1 – кварцовий сієніт, там же

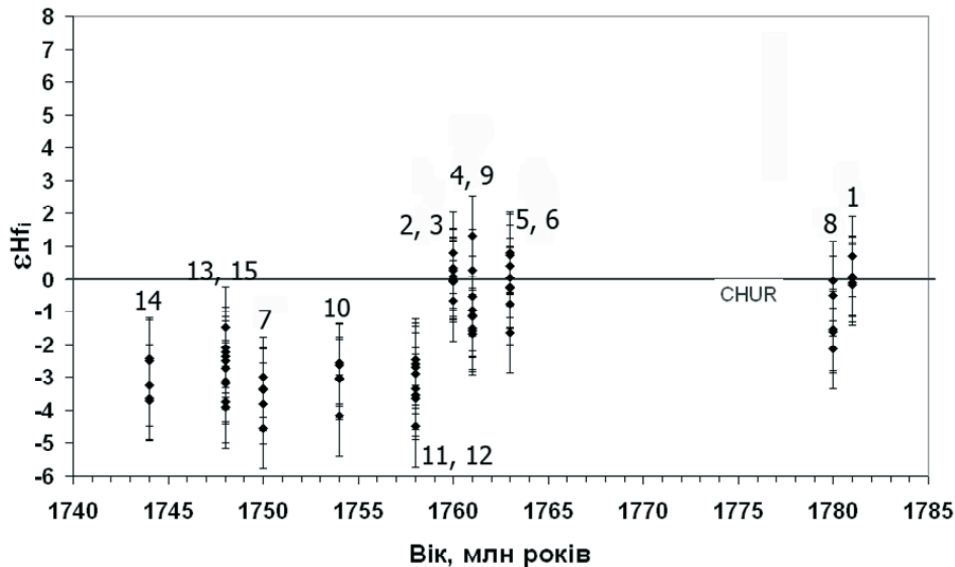


Рис. 1. Ізотопний склад гафнію в цирконах, виділених з порід Коростенського та Корсунь-Новомиргородського анортозит-рапаківігранітних плутонів  
Примітка: Цифри відповідають номерам у табл. 1

Ізотопний склад гафнію в цирконах, вилучених з порід Корсунь-Новомиргородського плутону, суттєво відрізняється від такого в цирконах з порід Коростенського плутону. Зокрема, в цирконах з анортозитів, що вміщують Носачівське ільменітове родовище, величина  $\epsilon_{\text{Hf}}$  становить  $-3,5 \pm 0,8$ , а в габроїдах вказаного родовища – коливається близько  $-2,9 \pm 0,5 \div -3,1 \pm 0,5$ . В цирконах з дещо більш молодих гранітоїдів плутону величина  $\epsilon_{\text{Hf}}$  становить  $-2,6 \pm 0,9 \div -2,9 \pm 0,9$ .

**Обговорення.** Ізотопний склад неодиму у валових пробах порід Коростенського плутону наведено в роботі [7]. Згідно із цими даними, найбільш ранні породи Коростенського плутону (анортозити серії  $A_1$ ) мають помірно позитивні значення величини  $\epsilon_{\text{Nd}}$  ( $+0,9 \div +1,6$ , в одній пробі –  $-1,2$ ). В анортозитах головної фази вкорінення значення величини  $\epsilon_{\text{Nd}}$  скорочується до  $+0,2 \div -0,7$ , а в габроїдах серій  $G_4$  – до  $-0,7 \div -1,4$ . Подібним чином змінюється і величина  $\epsilon_{\text{Hf}}$  в цирконах, вилучених з цих порід – якщо у ранніх відмінах основних порід величина  $\epsilon_{\text{Hf}}$  характеризується помірно позитивними величинами, то в більш пізніх породах вона поступово скорочується, досягаючи значення  $-3,5$  в найбільш пізніх з відомих проявів магматизму в межах плутону. Отже, як ізотопний склад неодиму у валових пробах порід плутону, так і ізотопний склад гафнію в цирконах, вилучених з цих порід, свідчить про поступову зміну геохімічної природи джерела розплавів, з яких ці породи кристалізувались. На думку автора, на початку формування Коростенського плутону відбувалося інтенсивне плавлення деплетованого мантіяного матеріалу, спровоковане, очевидно, дестабілізацією літосфери та декомпресією, пов'язаною з тектонічною перебудовою внаслідок зчленування двох сегментів Східно-Європейської платформи – Сарматії та Фенноскандії. Очевидно, відбувалось також і деяке занурення нижньокорового матеріалу у верхню мантію, де відбувалось його плавлення за моделлю, запропонованою [5]. Внаслідок цього первинні розплави Коростенського плутону мали змішані мантіяно-корові ізотопні характеристики; з плином часу частка корового матеріалу в джерелі плавлення зростала.

На відміну від цирконів з порід Коростенського плутону, циркони з порід Корсунь-Новомиргородського комплексу мають значно більш "розвинений" ізотопний склад гафнію – як в кислих, так і в основних відмінах значення величини  $\epsilon_{\text{Hf}}$  не підіймається вище  $-2,9$ . Отже, джерелом для первинних розплавів Корсунь-Новомиргородського плутону служили відносно давні корові породи. Внесок деплетованої мантії, якщо і мав місце, був вельми незначним.

**Висновки.** У вихідних розплавах Коростенського плутону частка деплетованої мантіяної речовини була доволі суттєвою, але поступово скорочувалась з часом; на зміну їй приходила нижньокорова речовина. На відміну від Коростенського плутону, в джерелі вихідних розплавів Корсунь-Новомиргородського комплексу деплетована мантіяна речовина відіграла значно меншу роль, якщо взагалі була присутня. Основним джерелом слугували відносно давні корові породи.

1. Шумлянський Л.В. Ізотопний U-Pb вік титаноносних габроїдів південної частини Володарськ-Волинського масиву, Коростенський плутон // Наукові праці ІФД. – 2007. – С. 118–128.
2. Шумлянський Л.В., Богданова С.В. U-Pb вік цирконів та геохімічні особливості ріолітів Овруцької западини, Північно-Західний район Українського щита // Мін. журнал. – 2009. – 31, № 1. – С. 40–49.
3. Шумлянський Л.В., Митрохін О.В., Богданова С.В. та ін. U-Pb по цирконах ізотопний вік порід Корсунь-Новомиргородського анортозит-рапаківігранітного плутону // Геолог України. – 2008. – № 1–2. – С. 77–85.
4. Andersen T., Griffin W.L. Lu-Hf and U-Pb isotope systematics of zircons from the Storgangen intrusion, Rogaland Intrusive Complex, SW Norway: implications for the composition and evolution of Precambrian lower crust in the Baltic Shield // Lithos. – 2004. – V. 73 – P. 271–288.
5. Duchesne, J.C., Liégeois, J.P., Vander Auwera, J., Longhi, J. The crustal tongue melting model and the origin of massif anorthosites // Terra Nova. – 1999. – V. 11. – P. 100–105.
6. Mitrokhin O.V. The gabbro-anorthosite massifs of the Korosten pluton (Ukraine) and problems of parental magmas evolution // Abstract volume of the GEODE field workshop 8–12<sup>th</sup> July 2001 on ilmenite deposits in the Rogaland anorthosite province, S. Norway. – NGU Report #2001.042. – P. 86–90.
7. Shumlyansky L., Ellam R.M., Mitrokhin O. The origin of basic rocks of the Korosten AMCG complex, Ukrainian shield: implication of Nd and Sr isotope data // Lithos. – 2006. – Vol. 90. – P. 214–222.

Надійшла до редколегії 28.05.09