

ОСОБЛИВОСТІ РОЗПОДІЛУ РІДКІСНОЗЕМЕЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ У БАЗИТ-УЛЬТРАБАЗИТАХ СЕРЕДНЬОПРИДНІПРОВСЬКОГО МЕГАБЛОКУ УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА

О.М. Пономаренко, В.В. Сукач, А.І. Самчук, О.П. Красюк, Т.В. Огар, О.О. Коваленко
*Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України
пр-т акад. Палладіна, 34, м. Київ, 03680, Україна*

Визначено вміст і розподіл рідкісноземельних елементів (РЗЕ) у базит-ультрабазитах Середньопридніпровського мегаблоку Українського щита. З'ясовано, що метабазальти мають недиференційований, метагабродолерити – слабо диференційований, метакоматиїти базальтові, метаперидотити – диференційований розподіл РЗЕ. Диференціація проявляється за рахунок збагачення легкими РЗЕ.

На основі закономірностей розподілу РЗЕ зроблено припущення, що базит-ультрабазитовий магматизм в межах мезоархейських зеленокам'яних структур забезпечували окремі камери, проміжні по відношенню до головного мантіїно-плюмового джерела.

Удосконалено методіку *ICP-MS* аналізу проб базит-ультрабазитів. Найбільш ефективним способом пробопідготовки виявився розклад гірських порід і мінералів у суміші сірчаної, фтористоводневої та азотної кислот. Визначення вмісту РЗЕ виконано без попереднього концентрування в діапазоні від 0,01 до 100 ppm з відносним стандартним відхиленням 0,04–0,10.

Ключові слова: метабазальти, метакоматиїти, метаперидотити, Середньопридніпровський мегаблок, розподіл рідкісноземельних елементів.

Вступ. Базит-ультрабазити мають повсюдний розвиток у межах Середньопридніпровського мегаблоку Українського щита (УЩ), проте складають лише 7–8 % території регіону. Головний їх обсяг локалізується в межах зеленокам'яних структур (ЗКС), де вони представлені мезоархейськими слабо метаморфізованими інтрузивними та ефузивними фаціями у складі єдиних, просторово і генетично споріднених вулканоплутонічних асоціацій (ВПА). Ефузивна фація представлена метабазальтами і метакоматиїтами, що домінують у складі ВПА, а інтрузивна – підпорядкованими метагабро, метадолеритами, метапіроксенітами, метаперидотитами, метадунітами. Ця група порід, яку можна назвати “зеленокам'яною”, суттєво переважає над базит-ультрабазитами, розміщеними поза межами зеленокам'яних структур, в їх

гранітоїдному оточенні. Вони представлені дайками або дрібними штоками, що іноді нагадують “трубки”, та складені слабо метаморфізованими або неметаморфізованими, лише палеотипно зміненними палеопротерозойськими породами, значно рідше – метаморфізованими палео- або мезоархейськими утвореннями.

Вивченням геології, геохімії, петрології базит-ультрабазитів Середнього Придніпров'я займалися Г.В. Артеменко, О.Б. Бобров, В.Л. Бойко, І.М. Бордунов, М.М. Ільвицький, Б.І. Малюк, М.П. Семененко, А.О. Сіворонов, О.М. Струєва, В.В. Сукач, І.С. Усенко та багато інших. Разом з тим, лише роботи останніх років виконані на сучасному науковому рівні із застосуванням результатів прецизійних лабораторних досліджень. У першу чергу це стосується визначення вмісту елементів-домішок у гірських породах та мінералах, у тому числі рідкісноземельних елементів (РЗЕ). У цьому плані як новаторські можна

розглядати роботи Н.О. Арестової, Г.В. Артеменка та ін. [1, 2 та ін.], завдяки яким вдалося встановити загальні особливості зародження та еволюції мезоархейського базит-ультрабазитового магматизму у Середньому Придніпров'ї. На базі отриманих даних автори зробили висновки, що формування магм, які слугували джерелом для ефузивних та інтрузивних порід зеленокам'яних структур УЩ, відбувалось під впливом мантіяного плюму на глибині 250–300 км.

Тому є велика потреба у продовженні геохімічних досліджень вмісту і розподілу РЗЕ та інших мікроелементів у зеленокам'яних структурах Середнього Придніпров'я, в розрізах яких переважають базит-ультрабазити. Це значно розширить та поглибить наші уявлення про особливості петрогенезису в мезоархейі УЩ і сприятиме підвищенню результативності пошуків родовищ чорних, кольорових та благородних металів, на які багаті зеленокам'яні комплекси раннього докембрію.

Мета досліджень. Визначення вмісту та геохімічних особливостей розподілу РЗЕ у базит-ультрабазитах Середньопридніпровського мегаблоку. Удосконалення аналітичних схем пробопідготовки із використанням мікрохвильового поля та методики визначення вмісту РЗЕ в пробах гірських порід на мас-спектрометрі з індукційно-зв'язаною плазмою (*ICP-MS*).

Об'єкт і методика досліджень. Досліджувалися представницькі зразки метаморфізованих вулканічних та плутонічних базит-ультрабазитів мезоархейських зеленокам'яних структур та більш пізніх палеопротерозойських (?) інтрузивних утворень Середньопридніпровського мегаблоку УЩ (табл. 1). Зразки відбирав один із авторів статті з керну бурових свердловин, пройдених у межах Верхівцівської, Софіївської, Сурської ЗКС і Кудашівського гранітоїдного масиву під час вико-

нання геологічного довивчення у м-бі 1 : 50000 (ГДП-50) Криничанської площі (М.М. Шурко, 2009) – проби 1/2, 24/26, 26/10, 80/12, та північної частини Сурської ЗКС (В.Я. Ганзя, 2006) – проба 0793/157.

Вміст РЗЕ та інших елементів-домішок у пробах визначали в лабораторії ІГМР НАН України ім. М.П. Семененка методом *ICP-MS* на аналізаторі *ELEMENT-2* (Німеччина). З метою вибору найоптимальнішої методики застосовували такі аналітичні схеми пробопідготовки зразків до *ICP-MS* аналізу: 1) розклад фтористоводневою і азотною кислотами в МХ-печі; 2) розклад у суміші сірчаної, фтористоводневої та азотної кислот в МХ-печі; 3) комбінований метод розкладу на основі розчинення в азотній та сірчаній кислотах і подальшого сплавлення нерозчинного залишку з метаборатом літію; 4) іоннообмінне концентрування та виділення РЗЕ. Найефективнішою виявилась схема 2 – розклад гірських порід і мінералів у суміші сірчаної, фтористоводневої та азотної кислот. У табл. 2 наведені результати визначення РЗЕ з використанням застосованої методики в різних за складом стандартних зразках. Отримані дані задовільно співпадають із прийнятим атестованим вмістом РЗЕ, похибка визначення не перевищує 15 %, а відносне стандартне відхилення в середньому складає 0,08–0,10. В якості еталонів використано: міжнародний стандарт базальту *JB-3* (Японія) [4], міжлабораторні стандартні зразки граніту *CO-3739* (Канада) і метабазальту *80/12*, внутрішній стандарт індію (¹¹⁵In).

Для визначення вмісту РЗЕ в пробах базит-ультрабазитів як еталон використовували міжлабораторний стандарт метабазальту *80/12*, проаналізований на вміст мікроелементів у лабораторії ВСЕГЕІ (м. Санкт-Петербург) методом *ICP-MS* (табл. 2–4).

Таблиця 1. Характеристика проаналізованих проб та міжлабораторного еталону

Проба	Глибина залягання, м	Назва породи	Геологічне положення	Географічне розташування
24/26	108,5	Метабазальт	Верхівцівська ЗКС, третя підсвіта сурської світи конкської серії	Правий берег р. Базавлук в р-ні с. Адамівка
26/10	29	Метагабродолерит	Софіївська ЗКС, інтрузивне тіло	Біля с. Смоленка
0793/153	247,0–248,0	Метабазальт	Сурська ЗКС, перша підсвіта сурської світи конкської серії	Північна околиця с. Червоний Маяк
01/02	76,0–79,0	Метаперидотит	трубоподібне тіло в межах Кудашівського гранітоїдного масиву	Північна околиця с. Потоки
80/12 (еталон)	112,5	Метабазальт	Верхівцівська ЗКС, третя підсвіта сурської світи конкської серії	с. Зелена Долина

Примітка. Проба: у чисельнику – номер свердловини, у знаменнику – номер проби.

Таблиця 2. Результати ICP-MS визначення РЗЕ в стандартних зразках, с ± Δ, ppm

Елемент	JB-3		CO-3739		MB-80/12	
	Атестовано, за [4]	Знайдено	Атестовано	Знайдено	Атестовано	Знайдено
La	8,8 ± 0,8	8,5 ± 0,6	38,9 ± 2,1	38,1 ± 2,2	7,96 ± 0,2	7,0 ± 0,3
Ce	22,0 ± 2,0	24 ± 3	103,3 ± 8,1	101,1 ± 3,1	20,2 ± 1,1	22,1 ± 1,8
Pr	3,4 ± 0,4	3,0 ± 0,5	12,65 ± 0,1	12,1 ± 0,4	3,07 ± 0,3	3,0 ± 0,1
Nd	16,0 ± 2,0	17,0 ± 1,0	48,9 ± 1,9	47,1 ± 1,6	16,1 ± 1,8	16,3 ± 2,0
Sm	4,3 ± 0,2	5,1 ± 0,8	6,3 ± 0,2	6,1 ± 0,4	5,26 ± 0,2	5,8 ± 0,32
Eu	1,3 ± 0,1	1,1 ± 0,2	1,69 ± 0,16	1,68 ± 0,2	1,7 ± 0,1	1,8 ± 0,1
Cd	4,7 ± 0,6	4,1 ± 0,7	3,35 ± 0,3	3,39 ± 0,3	6,97 ± 0,2	6,8 ± 0,2
Tb	0,73 ± 0,09	0,8 ± 0,12	0,44 ± 0,3	0,40 ± 0,08	1,22 ± 0,06	1,3 ± 0,08
Dy	4,5 ± 0,4	4,7 ± 0,03	1,77 ± 0,12	1,70 ± 0,14	9,11 ± 0,6	9,31 ± 0,2
Ho	0,80 ± 0,2	0,95 ± 0,15	0,25 ± 0,14	0,24 ± 0,12	2,07 ± 0,08	2,01 ± 0,08
Er	2,5 ± 0,4	2,8 ± 0,6	0,8 ± 0,2	0,8 ± 0,1	5,98 ± 0,2	5,66 ± 0,32
Tm	0,42 ± 0,05	0,40 ± 0,04	0,12 ± 0,09	0,11 ± 0,01	0,79 ± 0,3	0,89 ± 0,1
Yb	2,6 ± 0,5	2,4 ± 0,2	0,68 ± 0,08	0,67 ± 0,1	5,98 ± 0,2	5,1 ± 0,2
Lu	0,39 ± 0,06	0,35 ± 0,04	0,09 ± 0,01	0,09 ± 0,01	0,84 ± 0,3	0,74 ± 0,1

Таблиця 3. Хімічний склад досліджених проб та міжлабораторного еталону, мас. %

Компонент	Проба				
	24/26	26/10	0793/153	01/02	80/12 (еталон)
SiO ₂	43,79	47,1	50,59	40,00	48,40
Al ₂ O ₃	17,81	16,4	10,62	4,00	13,50
Fe ₂ O ₃	1,74	5,07	1,51	7,40	4,24
FeO	12,28	8,68	8,65	6,45	11,43
TiO ₂	1,53	2,57	0,66	0,13	2,40
P ₂ O ₅	0,16	0,26	0,08	0,03	0,17
MnO	0,24	0,19	0,21	0,25	0,20
CaO	6,96	9,70	7,98	2,50	7,70
MgO	7,33	4,65	11,94	30,00	4,55
SO ₃	<0,02	0,11	<0,02	0,18	0,15
H ₂ O ⁻	0,1	—	0,16	—	—
K ₂ O	0,27	0,23	0,36	0,20	0,40
Na ₂ O	1,18	3,20	2,49	0,14	4,05
В. п. п.	6,85	1,60	4,25	9,09	2,72
Сума	93,39	99,77	99,5	100,37	99,92
<i>Петрохімічні коефіцієнти</i>					
Na ₂ O + K ₂ O	1,45	3,43	2,85	0,34	4,45
Na ₂ O / K ₂ O	4,37	13,91	6,92	0,70	10,13
FeOt = 0,9*Fe ₂ O ₃ + FeO	13,85	13,24	10,01	13,11	15,25
al = Al ₂ O ₃ / (FeOt + MgO)	0,84	0,92	0,48	0,09	0,68
F = FeOt / (FeOt + MgO)	0,65	0,74	0,46	0,30	0,77
CaO / Al ₂ O ₃	0,39	0,59	0,75	0,63	0,57

Примітка : прочерк – значення не зафіксовані.

Геологічний опис проб. *Проба 24/26* відібрана з метабазитів східного борту Верхівцівської ЗКС. У стратиграфічному відношенні вона характеризує третю підсвіту сурської світи конкської серії. Макроскопічно – це сланець зеленого, сірувато-зеленого кольору, дрібно-середньозернистий, з нечіткою голчастою структурою, яка нагадує “спі-

ніфлекс”. Під мікроскопом проявляється порфіробластична структура з гранолепідобластовою мікрозернистою основною масою. Порфіробласти представлені актинолітом і біотитом. Мінеральний склад, %: хлорит – 30, епідот – 30, актиноліт – 10–15, плагіоклаз – 10–15, кварц – 8–10, біотит – 3–5, рудні мінерали (сульфіди, титано-

магнетит, ільменіт) – до 2. За вмістом SiO₂ (табл. 3) порода належить до зони переходу між групами основних і ультраосновних порід. Незважаючи на голчасту структуру, подібну до “спініфекс”, метавулканіт має нижчий від коматійтових базальтів вміст MgO та значно вищий TiO₂. За комплексом ознак сланець можна діагностувати як метаморфізований меланократовий базальт.

Проба 0793/153 відібрана з ультрамафітів у південно-західному борту Сурської ЗКС, які входять до складу першої підсвіти сурської світи конкської серії. За зовнішнім виглядом це темно-зелена дрібно-середньозерниста масивна порода, що складається з амфіболу (актиноліту) – актинолітит. Під мікроскопом визначено реліктову порфіроподібну структуру і смугасто-сланцювату текстуру. Мінеральний склад, %: актиноліт – 93, рудні – 2, хлорит – 1, кварц – < 1. За хімічним складом (табл. 3) порода діагностується як метаконатит базальтовий.

Проба 1/2 представлена метаперидотитом, який складає трубоподібне інтрузивне тіло (шток) у Кудашівському масиві, західніше Верхівцівської ЗКС. Порода темно-зеленого кольору, дрібнозерниста, масивної текстури, з розсіяною дрібною вкрапленістю магнетиту. У шліфах спостерігається листувата, нематолепідобластова, реліктова призматичнозерниста, псевдоморфна заміщення структура і такий мінеральний склад, %: серпентин (антигорит) – 60–65, амфібол – 15–20, клінопіроксен – 5, хлорит – 5, магнетит – 10, тальк – поодинокі зерна. Серпентин, амфібол і хлорит складають видовжені широкі призматичні псевдоморфози по ромбічному піроксену, релікти якого подекуди діагностуються у шліфі. Магнетит (титаномагнетит) представлений двома генераціями: первинною – ізометричні округлі виділення та вторинною – розсіяна пилоподібна та пунктирна вкрапленість, що утворилась у ході кристалізації серпентину. Вважаємо, що спочатку піроксен заміщувався хлоритом і безбарвним амфіболом тремоліт-актинолітового ряду, після цього, можливо, в результаті гіпергенних процесів, хлорит-амфіболові псевдоморфози в значній мірі замістилися паралельно-листуватим агрегатом серпентину (антигориту).

Проба 26/10 характеризує інтрузивні метагабродолерити Софіївської ЗКС, які розглядаються в якості плутонічних аналогів метавулканітів сурської світи конкської серії. Порода сірувато-зелена, середньозерниста з мозаїчною текстурою за рахунок світлих кварц-польовошпатових агрегатів

Таблиця 4. Вміст рідкісних та рідкісноземельних елементів в проаналізованих пробах та еталоні, ppm

Елемент	Проба				
	24/26	26/10	0793/153	01/02	80/12 (еталон)
Cr	154,53	31,41	1244,43	4056,12	40,2
Co	59,19	55,93	68,79	645,77	50,3
Ni	110,42	27,73	366,69	1491,29	33,1
Rb	12,22	4,47	13,17	2,49	2,05
Sr	118,41	149,8	130,89	8,48	115,00
Y	29,69	18,35	9,94	6,17	54,10
Zr	56,35	28,17	27,50	16,17	183,00
Nb	7,33	8,09	0,91	1,16	9,13
Ba	53,01	78,64	28,05	33,27	67,00
La	24,1	7,00	7,26	2,90	7,96
Ce	42,08	16,52	10,81	5,40	20,20
Pr	4,93	2,25	1,10	0,76	3,07
Nd	20,84	9,75	3,83	3,09	16,1
Sm	4,14	2,40	0,85	0,76	5,26
Eu	1,41	1,01	0,41	0,17	1,67
Gd	4,39	2,85	1,12	0,96	6,97
Tb	0,68	0,44	0,2	0,15	1,22
Dy	5,07	3,12	1,59	1,06	9,11
Ho	1,14	0,68	0,38	0,23	2,07
Er	3,29	1,89	1,07	0,66	5,98
Tm	0,44	0,24	0,14	0,09	0,79
Yb	3,12	1,82	1,16	0,68	5,86
Lu	0,46	0,26	0,16	0,09	0,84
Hf	1,58	0,864	0,786	0,467	4,96
Ta	2,096	1,499	0,077	0,138	0,62
Th	0,902	0,704	0,886	0,703	2,43
U	0,304	0,554	0,417	0,338	0,72
ΣREE	116,09	50,21	30,06	16,98	87,10
La _n /Yb _n	5,54	2,76	4,51	3,07	0,97
La _n /Sm _n	3,76	1,88	5,50	2,47	0,98
Gd _n /Yb _n	1,16	1,30	0,80	1,17	0,98
Eu/Eu*	1,01	1,18	1,27	0,61	0,84

на фоні зеленого амфіболу. Під мікроскопом достовірно діагностується реліктова габродолеритова структура. Мінеральний склад, %: плагіоклаз – 40, рогова обманка – 40–45, кварц – 8–10, рудний мінерал (титано-магнетит) – 3–5, епідот – 3–5.

Міжлабораторний стандарт 80/12 характеризує метаморфізовані магматичні породи основного складу – базальти, які також належать до зеленокам'яного комплексу Середньопридніпровського мегаблоку УЩ. Проба для нього була відібрана з керну свердловини 80, що розкрила третю підсвіту сурської світи конкської серії у межах Верхівцівської ЗКС. Метабазальти зеленого кольору, дрібнозернисті, масивні, з реліктами різноорієнтованих лінійних елементів текучості первинної

лави. Під мікроскопом структура породи гломеро-нематобластова, мікрозерниста з реліктами офітової. Мінералогічний склад, %: рогова обманка – 45–50, плагіоклаз – 40–45, рудний мінерал (магнетит) – 3, епідот – 1–2, апатит – < 1.

За хімічним складом (табл. 3) досліджені породи належать до натрієвої серії, окрім метаперидотитів проби 1/2, яка належить до калієвої. Слід зазначити, що сума лугів $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ у цій пробі становить лише 0,70 %. Коефіцієнт глиноземистості a' досліджених проб не перевищує 1, що дає змогу відносити їх до групи помірно- та низькоглиноземистих. На фоні значень коефіцієнту глиноземистості в межах 0,48–0,92 різко виділяється проба 1/2 з його зниженим значенням – 0,09. За значенням коефіцієнту f мафіти 24/26 і 26/10 є магно-залістими, ультрамафіти 0793/153 і 1/2 – залізисто-магнієвими, а еталонний metabазальт – високозалістим.

Аналіз отриманих результатів. Результати визначення вмісту рідкісних та рідкісноземельних елементів наведені в табл. 4 та відображені на відповідних діаграмах (рис. 1–3).

Розподіл РЗЕ, вміст яких нормований до хондриту (McDonough & Sun, 1995), вказує на незначну диференційованість базит-ультрабазитів зі значеннями $\text{La}_n/\text{Yb}_n = 2,76\text{--}5,54$, що відображено на рис. 1 нахилом ліній розподілу РЗЕ для усіх досліджених проб. Добре вираженою є перевага легких над середніми (Sm–Ho) і важкими РЗЕ, менш вираженою – перевага середніх над важкими РЗЕ.

Найвищий вміст РЗЕ відмічено у пробі 24/26 (метабазальт), дещо нижчий – у 26/10 (метабродолерит). Спільні риси розподілу важких, серед-

ніх та, частково, легких РЗЕ в цих породах не суперечать геологічним побудовам, згідно з якими ці породи розглядаються в якості одновікових ефузивних та інтрузивних складових вулканоплутонічних асоціацій сусідніх Верхівцівській та Софіївській ЗКС. Наявність незначної позитивної європейської аномалії $\text{Eu}/\text{Eu}^* = 1,18$ в пробі 26/10 можна пояснити кристалізацією габродолеритів із нефракціонованого магматичного джерела. Деякі відмінності вмісту і розподілу РЗЕ цих порід відображають ймовірне існування для кожної ЗКС окремих проміжних магматичних резервуарів у структурі єдиного мантієвого плюму.

Проба 0793/153 (метакоматитовий базальт) має добре виражений диференційований розподіл легких РЗЕ ($\text{La}_n/\text{Sm}_n = 5,50$) з найбільшою серед інших проб позитивною аномалією європію ($\text{Eu}/\text{Eu}^* = 1,27$). Можна передбачити їх формування за рахунок нефракціонованої коматитової магми, яка зазнала контамінації коровим матеріалом у процесі укорінення. Необхідно відмітити, що диференційований розподіл легких РЗЕ є типовим для коматитів зеленокам'яних структур УЩ, проте відсутній в ультраосновних метавулканітах Балтійського щита, які переважно мають недиференційовану лінію розподілу РЗЕ [1].

Закономірності вмісту і розподілу РЗЕ, у тому числі відмічені вище для спектру легких елементів у коматитах, та поведінка європію в метакоматитовому базальті Сурської (проба 0793/153) і меланократовому metabазальті Софіївської (проба 24/26) ЗКС вказують на їх можливий геохімічний зв'язок у процесі еволюції базит-ультрабазитового магматизму. Ймовірно, що перші сформувалися

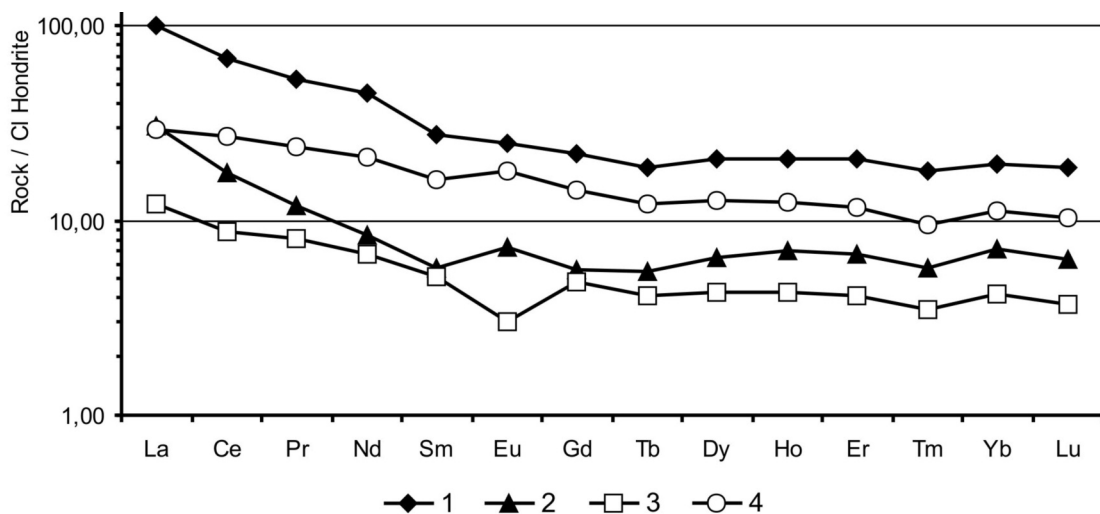
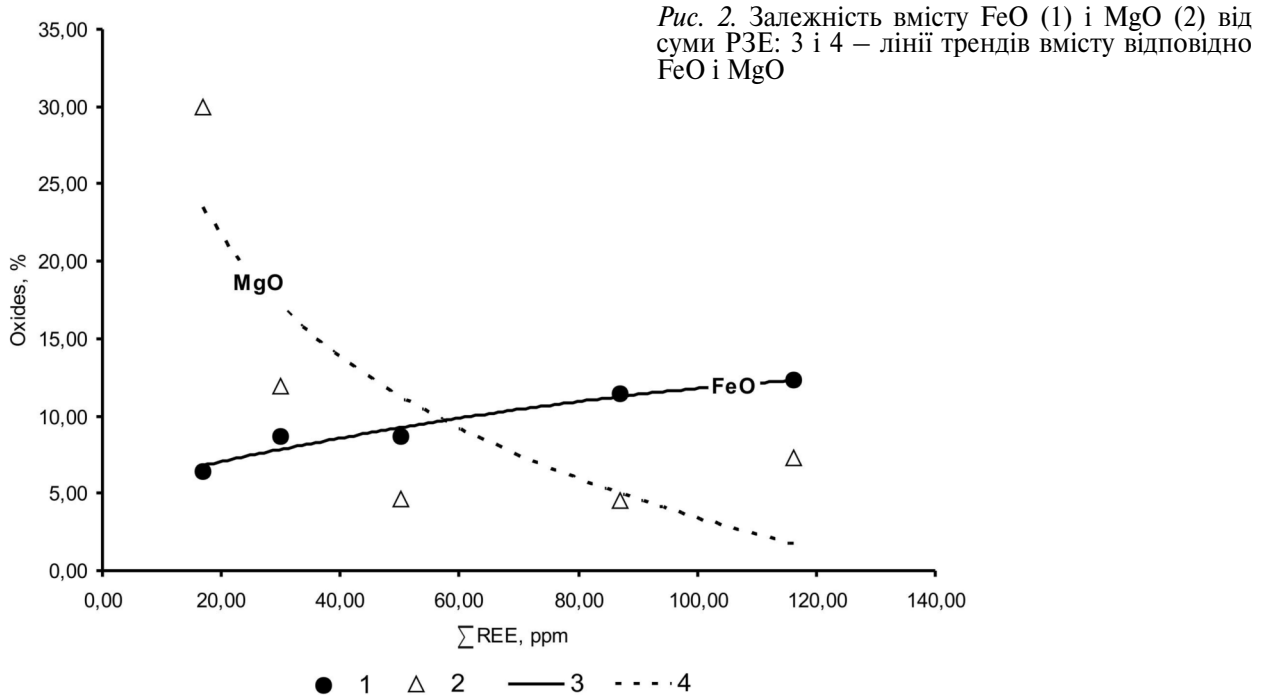


Рис. 1. Спектри розподілу РЗЕ у базит-ультрабазитах Середнього Придніпров'я: 1 – метапікробазальт (проба 24/26), 2 – метакоматит базальтовий (проба 0793/157), 3 – метаперидотит (проба 1/2), 4 – метабродолерит (проба 26/10)



на більш ранніх етапах мантіїно-плюмових процесів із слабо диференційованого джерела з невисокою (до 10 разів по відношенню до хондриту) концентрацією РЗЕ та позитивною аномалією Європію. Для других передбачається збагачена РЗЕ магма (у 40–100 разів по відношенню до хондриту) і відсутність аномалії Європію.

Незважаючи на те, що за геологічними даними метаперидотити (проба 1/2) належать до протерозойських інтрузивних порід, для них визначений найнижчий вміст РЗЕ. Їх сума становить 16,98 г/т, що принаймні удвічі нижче, ніж у пробі 0793/153 і перевищує загальний вміст РЗЕ у хонд-

риті лише у 5–6 разів. Поряд з цим, метаперидотити помірно диференційовані ($La_n/Yb_n = 3,07$) та характеризуються яскраво вираженою негативною аномалією Європію ($Eu/Eu^* = 0,61$). За розподілом інших РЗЕ та хімічним складом метаперидотити вельми подібні до метакоматитів, що могло би передбачати їх виникнення за рахунок плавлення реліктової фази останніх. Проте більш ймовірним є припущення про формування цих порід з частково фракціонованого реліктового мантіїного джерела, яке знаходилось на примітивній стадії розвитку під час архейського “зеленокам’яного” магматизму.

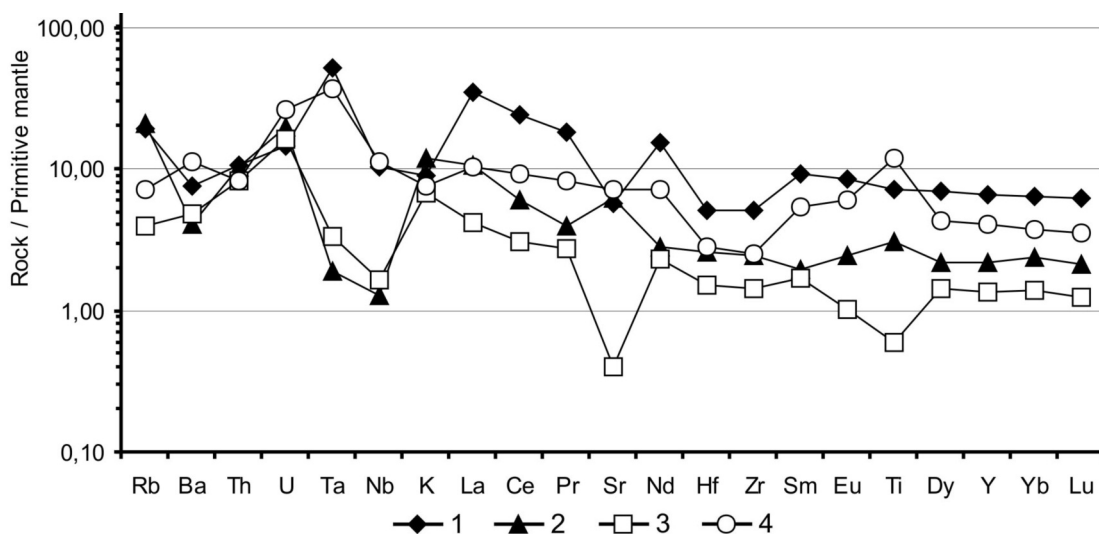


Рис. 3. Спектри розподілу рідкісних елементів в базит-ультрабазитах зеленокам’яного комплексу Середнього Придніпров’я. Умовні позначення див. на рис. 1

Встановлена залежність сумарного вмісту РЗЕ в пробах від вмісту деяких головних петрогенних елементів. Найбільш чітко проявленими є прямопропорційні співвідношення суми РЗЕ з FeO та обернено пропорційні з MgO (рис. 2).

Розподіл рідкісних і рідкісноземельних елементів, вміст яких нормований на примітивну мантію (*Sun & McDonough*, 1989), має дисперсний характер, що може підтверджувати відмічені вище геологічні, речовинні та генетичні відмінності досліджених порід. Разом з тим, проявляється зближення ліній розподілу мікроелементів у пробах 24/26 і 26/10, які вказують на можливу генетичну спорідненість метабазитів. Ультрамафіти проб 1/2 і 0793/153 деплетовані Ta і Nb, вміст яких наближається до примітивної мантії. Проба 0793/153 збагачена на Sr і Ti, в той час як проба 1/2 різко збіднена на ці елементи, нижче рівня примітивної мантії. Слід відмітити, що тантал у мафітах проб 24/26 і 26/10, на противагу ультрамафітам, характеризується аномальним вмістом – до 50-кратного перевищення над мантійними.

Обговорення результатів і висновки. За результатами виконаних досліджень та враховуючи дані опублікованих робіт [1, 2 та ін.] найголовнішими геохімічними особливостями базит-ультрабазитів Середньопридніпровського мегаблоку УЩ є такі:

1. За розподілом РЗЕ базит-ультрабазити умовно можна поділити на три типи: недиференційовані ($La_n/Yb_n \sim 1$), слабо диференційовані ($La_n/Yb_n = 2-3$) і диференційовані ($La_n/Yb_n = 3-6$). До перших належать метабазальти, до других – їх інтрузивні аналоги – метагабродолерити, метагабро, до третіх – метакоматитові базальти, метакоматити, метаперидотити. При цьому диференційований розподіл у базит-ультрабазитах спричинений збагаченням легкими елементами ($La_n/Sm_n = 1,9-5,5$), тоді як середні і важкі РЗЕ у всіх породах практично не диференційовані ($Gd_n/Yb_n < 1,2$). Збагачення в спектрі легких РЗЕ [1] пояснює контамінацією коматитового розплаву коровим матеріалом.

2. Відмічені вище особливості розподілу, а також концентрацію РЗЕ в базит-ультрабазитах, можна розглядати як характерні для зеленокам'яних структур УЩ. Метабазальти відрізняються від толейтів типу ТН2, по К. Конді [3], і лише частково перекриваються з полем толейтів ТН1. Для типових архейських коматитів відмічається збіднення на легкі РЗЕ на фоні зростання вмісту MgO, а для метакоматитових базальтів, метакоматитів і метаперидотитів Середнього

Придніпров'я відмічена протилежна залежність. Частково вони можуть зіставлятися лише з базальтовими метакоматитами типу ВК1, по К. Конді [3].

3. Геохімічна подібність у розподілі РЗЕ метавулканітів та їх інтрузивних аналогів у різних ЗКС розглядається нами як свідчення їхнього формування з єдиного мантіїно-плюмового джерела. З другого боку, наявність деяких відмінностей може вказувати на існування окремих проміжних магматичних камер, що контролювалися спільним плюмом. Більше того, аналіз закономірностей розподілу РЗЕ дає підставу передбачати існування як толейтових, так і коматитових за складом проміжних магматичних камер. Для продуктів толейтової магми найчастіше відмічається недиференційований або слабо диференційований розподіл РЗЕ та їх концентрація 20–100 (нормалізація на хондрит); відсутня або слабо проявлена аномалія європію. Похідні коматитового розплаву мають ширший інтервал концентрації РЗЕ (1–100), гарну диференціацію в частині легких елементів та добре виражену європієву аномалію. Питання про ймовірне існування двох типів магми потребує додаткового геохімічного вивчення і комплексного геолого-геофізичного обґрунтування.

4. Цікава геохімічна особливість виявлена для палеопротерозойських (?) метаперидотитів, які складають трубоподібні тіла (дрібні штоки) серед архейських двопольовошпатових гранітоїдів Кудашівського масиву, а саме: на фоні загалом низької концентрації РЗЕ встановлені збагачення легкими елементами, що у 5–6 разів перевищує хондритову, та негативна європієва аномалія. Одним із можливих джерел цих порід може розглядатися частково фракціонований мантіїний релікт, який на час мезоархейського магматизму в межах ЗКС знаходився на примітивній стадії розвитку.

В процесі виконання досліджень удосконалено методику *ICP-MS* аналізу базит-ультрабазитів. Найбільш ефективним способом пробопідготовки виявився розклад гірських порід і мінералів у суміші сірчаної, фтористоводневої та азотної кислот. Визначення вмісту РЗЕ виконане в діапазоні від 0,01 до 100 ppm з відносним стандарним відхиленням 0,04–0,10. Застосування запропонованої методики *ICP-MS* для визначення вмісту РЗЕ та інших елементів-домішок відкриває широкі можливості проведення цілеспрямованих петролого-геохімічних досліджень у межах як Середньопридніпровського мегаблоку УЩ, так і інших територій поширення базит-ультрабазитів.

Література

1. Арестова Н.А., Вревский А.Б., Артёмов Г.В., Сукач В.В. Мантийные источники и условия формирования расплавов архейских коматиитов и базальтов в различных блоках Балтийского и Украинского щитов // Сб. тезисов Межд. научно-практ. конф. “Стратиграфия, геохронология и корреляция нижнедокембрийских породных комплексов фундамента Восточно-Европейской платформы“ / УкрГГРИ. – Киев, 2010. – С. 21–25.
2. Артёмов Г.В., Самборская И.А. Геохимические отличия перидотитовых и пироксенитовых коматиитов зеленокаменных поясов Приазовского и Среднеприднепровского мегаблоков Украинского щита // Мінерал. журн. – 2009. – 31, № 2. – С. 1–19.
3. Конди К. Архейские зеленокаменные пояса. – М.: Мир, 1983. – 390 с.
4. Николаева И.В., Палеский С.В., Козьменко О.А., Аношин Г.Н. Определение редкоземельных и высокозарядных элементов в стандартных геологических образцах методом масс-спектрометрии с индукционно связанной плазмой (ИСП-МС) // Геохимия. – 2008. – № 10. – С. 1085–1091.

Ponomarenko O., Sukach V., Samchuk A., Krasnyuk O., Ogar T., Kovalenko O.

Features of rare earth element distribution in basic-ultrabasic rocks of the Middle-Dnipro megablock, Ukrainian Shield.

Content and distribution of rare earth element (REE) in the mafic-ultramafic rocks of Middle Dnipro megablock of the Ukrainian Shield were estimated. It was established that metabasalts have undifferentiated, metagabbrodolerites – weakly differentiated, basaltic metakomatiites and metaperidotites – differentiated distribution of REE. Differentiated distribution is a characteristic feature of metakomatiites and caused by light REE (LREE) enrichment. On the basis of the REE distribution it is suggested that the basic-ultrabasic magmatism within Mezo-Archean greenstone structures was provided with separate, intermediate to the main mantle-plume body, sources.

Technique of ICP-MS analysis of basic-ultrabasic rocks was improved. The most effective method of sample preparation is the decomposition of rocks and minerals in a mixture of sulfuric, hydrofluoric and nitric acids. REE testing was made without preliminary concentration over the range from 0.01 to 100 ppm with standart deviation of 0.04–0.10.

Key words: metabasalts, metakomatiites, metaperidotites, Middle-Dnipro megablock, distribution of rare earth elements.

Пономаренко А.Н., Сукач В.В., Самчук А.И., Красюк О.П., Огар Т.В., Коваленко О.О.

Особенности распределения редкоземельных элементов в базит-ультрабазитах Среднеприднепровского мегаблока Украинского щита.

Определено содержание и распределение редкоземельных элементов (РЗЭ) в базит-ультрабазитах Среднеприднепровского мегаблока Украинского щита. Выяснено, что metabазальты имеют недифференцированное, метагаббродолериты – слабо дифференцированное, метакоматииты базальтовые, метаперидотиты – дифференцированное распределение РЗЭ. Дифференциация, присущая метакоматиитам, проявляется за счет обогащения легкими РЗЭ. На основе закономерностей распределения РЗЭ сделано предположение, что базит-ультрабазитовый магматизм в пределах мезоархейских зеленокаменных структур обеспечивался отдельными, промежуточными по отношению к главному мантийно-плюмовому телу, источниками.

Усовершенствована методика ICP-MS анализа базит-ультрабазитов. Наиболее эффективный способ пробоподготовки – разложение горных пород и минералов в смеси серной, фтористоводородной и азотной кислот. Определение РЗЭ выполнено без предварительного концентрирования в диапазоне от 0,01 до 100 ppm с относительным стандартным отклонением 0,04–0,10.

Ключевые слова: metabазальты, метакоматииты, метаперидотиты, Среднеприднепровский мегаблок, распределение редкоземельных элементов.

Надійшла 09.09.2014