

<https://doi.org/10.15407/mineraljournal.42.03.027>
УДК 549.753.1:550.84 (477)

О.М. Пономаренко, д-р геол. наук, акад. НАН України, директор

E-mail: pan.igmof@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-5179-6091>

А.І. Самчук, д-р хім. наук, гол. наук. співроб.

E-mail: igmrsamchuk@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-8992-9112>

І.М. Лісна, канд. геол.-мін. наук, старш. наук. співроб.

E-mail: Lesirmich@ukr.net

<https://orcid.org/0000-0001-7545-1752>

Л.В. Сьомка, наук. співроб.

E-mail: liudmylas26@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-7059-2502>

І.А. Швайка, канд. геол. наук, наук. співроб.

E-mail: ishvaika@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-9585-4380>

Л.І. Проскурка, мол. наук. співроб.

E-mail: igmrproskurko@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-5760-2000>

І.Д. Швайка, пров. інженер

E-mail: igor.d.shvayka@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-1908-6639>

К.В. Вовк, канд. геол. наук, заст. дир.

E-mail: vovkkaterina90@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-5076-260X>

Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення

ім. М.П. Семененка НАН України

03142, м. Київ, Україна, пр-т Акад. Палладіна, 34

ОСОБЛИВОСТІ РОЗПОДІЛУ РЗЕ В АПАТИТАХ ГРАНУЛІТО-ГНЕЙСОВИХ ПОРІД ПОДІЛЬСЬКОГО БЛОКУ УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА

У результаті вивчення розподілу рідкісноземельних елементів (РЗЕ, REE) в апатитах із метаморфічних порід, наявних у вигляді ксенолітів (скіалітів) серед бердичівських гранітів і чарнокітоїдів Подільського блоку Дністровсько-Бузького мегаблоку Українського щита, встановлено, що апатити грануліто-гнейсових порід характеризуються невеликим фракціонуванням REE з перевагою легких REE за різкого дефіциту Європію, що характерно для вапнисто-лужних порід інших щитів. Максимальний вміст REE в апатитах метаморфічних порід березинської товщі характерний для меланократових порід, як правило, для центральних зон ксенолітів метаморфічних порід; на контакт з гранітоїдами вміст REE в них знижується. У результаті цього всі ксеноліти стають зональними, адже одним із факторів, що регулюють диференціацію REE, є кислотність-основність мінералоутворювального середовища. Припущено, що спектри розподілу REE в апатитах із метаморфічних порід, які знаходяться у вигляді ксенолітів серед гранітоїдів, можуть вказувати на природу ксенолітів: чи є вони субстратом для цих гранітоїдів, чи це, можливо, дайкові або рести-тові утворення.

Ключові слова: апатити, рідкісноземельні елементи, гранітизація гнейсів і кристалосланців, Український щит.

Цитування: Пономаренко О.М., Самчук А.І., Лісна І.М., Сьомка Л.В., Швайка І.А., Проскурка Л.І., Швайка І.Д., Вовк К.В. Особливості розподілу РЗЕ в апатитах грануліто-гнейсових порід Подільського блоку Українського щита. *Мінерал. журн.* 2020. 42, № 3. С. 27–38. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.42.03.027>

Вступ. Специфікою гранулітового комплексу Дністровсько-Бузького мегаблоку Українського щита (УЩ), як і інших ранньодокембрійських грануліто-гнейсових областей, є широкий розвиток гранітоїдних формацій, які займають більший об'єм, ніж супракрystalні утворення. У Подільському блоці гранітоїди представлені переважно чарнокітоїдами і бердичівськими гранітоїдами. Серед чарнокітоїдів у вигляді ксенолітів найчастіше незначного розміру наявні двопіроксенові, двопіроксенороговообманкові кристалосланці і гнейси. Серед бердичівських гранітоїдів переважають гранат-біотитові, гіперстен-гранат-біотитові гнейси і гіперстенові кристалосланці. Ксеноліти метаморфічних порід розглядають або як субстрат для відповідних гранітоїдів, або як дайкові породи. Є також думка про реститовий характер ксенолітів. Але незалежно від походження метаморфічні ксеноліти на контакті з гранітоїдами піддаються гранітизації (анатексис, біметасоматоз, дифузний масоперенос), в результаті чого ксеноліти завжди зональні. У центрі ксенолітів, як правило, зберігається вихідний склад метаморфічної породи. На контакті з гранітоїдами в них змінюється склад як породоутворювальних, так і акцесорних мінералів.

Для вивчення поведінки *REE* в акцесорних мінералах під час процесів гранітизації досліджені апатити із грануліто-гнейсових порід По-

дільського блоку Дністровсько-Бузького мегаблоку УЩ. Апатит — один із найпоширеніших наскрізних акцесорних мінералів грануліто-гнейсових порід. Його вміст у породах часто переважає вміст монациту і циркону, іноді на порядок. В апатиті, як у фосфатному мінералі, концентрується найбільша кількість *REE*.

Мета роботи — простежити розподіл *REE* в апатитах під час гранітизації метаморфічних порід, наявних у вигляді ксенолітів серед гранітоїдів.

Об'єкти і методи дослідження. Для дослідження розподілу *REE* в апатитах були відібрані найхарактерніші проби, що представляють різні типи метаморфічних порід — від більш низькотемпературних, в яких гранітизація (анатексис, метасоматоз, дифузний масоперенос) відбувається інтенсивніше (це ксеноліти гранат-біотитових, гіперстен-гранат-біотитових гнейсів і гіперстенових кристалосланців березнинської товщі серед гранітоїдів бердичівського комплексу), до більш високотемпературних двопіроксенороговообманкових кристалосланців, які знаходяться серед чарнокітоїдів. Окрім того, відібрано серію апатитів із порід Літинської структури, у якій ендербіти утворилися в результаті гранітизації ендербіто-гнейсів гайворонського комплексу.

Вміст *REE* в апатитах визначено в Інституті геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Се-

Таблиця 1. Вміст *REE* в апатитах із метаморфічних порід дністровсько-бузької серії, що містяться у вигляді ксенолітів
Table 1. Content of *REE* in apatites from metamorphic rocks of the Dniester-Bug series, that occur as xenoliths among

Елемент	Номер проби									
	78/73-2	78/73-1	78/73-a	80/73-2	80/73-1	41/72E	70/73-2	70/73-1	70/73	40/72-2
Sc	0,97	1,70	0,39	1,04	—	0,07	0,57	0,91	0,21	0,25
Y	426,94	1257,6	1213,29	1194,93	1093,62	342,07	883,45	466,49	968,04	924,10
La	318,80	175,67	82,99	766,65	317,22	370,33	88,91	141,25	209,54	304,00
Ce	1125,39	764,88	310,41	2415,93	1169,69	1420,16	363,37	543,96	875,88	581,00
Pr	211,08	157,28	58,01	370,98	201,50	229,63	88,50	97,61	157,97	68,00
Nd	1200,26	980,18	359,63	1775,70	1032,22	1176,11	583,33	531,74	978,92	278,00
Sm	441,07	401,07	159,06	436,79	314,77	305,62	264,25	201,97	335,87	59,00
Eu	10,59	8,57	12,60	26,69	12,84	16,26	15,28	15,16	16,19	11,00
Gd	477,95	569,09	237,65	423,32	350,23	192,43	290,81	224,17	351,82	68,00
Tb	51,69	86,70	36,44	56,30	48,65	23,45	51,30	36,39	47,89	9,00
Dy	225,87	304,94	233,13	262,42	238,86	96,16	240,76	164,12	239,90	54,00
Ho	31,97	40,31	46,14	44,93	42,60	13,48	42,54	23,05	43,44	10,00
Er	55,98	78,70	141,63	119,62	106,80	29,52	42,54	23,05	112,00	29,00
Tm	5,03	7,19	18,24	13,88	12,95	3,21	12,80	48,12	13,00	4,00
Yb	22,68	31,30	108,66	83,66	70,61	16,07	64,20	4,71	68,45	21,00
Lu	2,57	3,75	14,85	10,19	8,79	2,02	8,07	3,18	8,83	3,00

мененка НАН України за допомогою методу масспектрометрії з індуктивно-зв'язаною плазмою (ICP-MS) з використанням аналізатора *Element-2*. Однією із переваг цього методу є можливість отримання кількісних співвідношень практично всіх лантаноїдів. Як еталон для апатитів застосовано стандартний (атестований у лабораторії) зразок апатиту. У дослідженнях використано концентровані кислоти HF, HCl, HNO₃, H₂SO₄ (*Merck*, Німеччина). Воду з опором 18,2 МОм отримали за допомогою системи *Direct-03* фірми *Millipore*. Розчинення проб виконано в мікрохвильовій (МХ) печі *ETNOS* фірми *Milestone* (Італія). Робоча частота МХ-випромінювання 2450 МГц, максимальна потужність 1600 Вт. Сенсор з керамічним і тефлоновим покриттям задавав значення температури й часу розкладу природних об'єктів і контролював параметри під час проходження реакції в автоклавах за допомогою терміналу з кольоровим монітором (*VCA-640-480*). Реакції в автоклавах відбувались автоматично, відповідно до заданої програми, перебіг відображався графічно на екрані комп'ютера.

Підготовку зразків до ICP-MS аналізу виконали за такою аналітичною схемою. Наважки проб 0,05 г розміщували в автоклаві з кислотами: 2 мл HF, 1 мл H₂SO₄, 3 мл HCl та 2 мл HNO₃. Ротор з автоклавами поміщали в МХ-піч, яку нагрівали за програмою до 240 °С протягом

30 хв. Якщо розклад проби був не повним, обробку повторювали. Після охолодження автоклава розчин випаровували на піщаній бані до появи густих білих парів сірчаної кислоти. Залишок солей розчиняли нагріванням у 5%-й азотній кислоті. Розчин доводили до мітки 3%-м розчином азотної кислоти. Чутливість визначення елементів 0,02–0,05 г/т з відносним стандартним відхиленням 0,10–0,15.

Для графічного представлення результатів вмісту REE у апатитах застосовано нормування за хондритом [6]. Сума REE церієвої підгрупи визначалася як $\Sigma Ce = La + Ce + Pr + Nd + Sm + Eu + Gd$, а сума REE ітрієвої підгрупи як $\Sigma Y = Tb + Dy + Ho + Er + Tm + Yb + Lu$. Аномалії Eu (Eu/Eu*) розраховано за формулою: $Eu_N / (Sm_N * Gd_N)^{1/2}$.

Результати досліджень. Розподіл REE в апатитах метаморфічних порід Подільського блоку, наявних у вигляді ксенолітів серед гранітоїдів, розглянуто на прикладі метаморфічних порід березинської і тиврівської товщ дністровсько-бузької серії (табл. 1).

Метаморфічні породи березинської товщі дністровсько-бузької серії представлені гранат-біотитовими гнейсами, часто з гіперстеном і гіперстеновими кристалосланцями. Гранат-біотитові гнейси знаходяться серед бердичівських гранітів у вигляді ксенолітів потужністю від декількох сантиметрів до перших метрів. Контакти з гранітами виглядають чіткими, бо часто ксеноліти оконтурені світлішими кварц-польовошпатовими зонками. Гранат-біотитові гнейси дрібнозернисті, сірого, світло- та рожево-сірого кольору з таким мінеральним складом: гранат, біотит, плагіоклаз, кварц, калієвий польовий шпат, пірит, апатит, циркон, монацит, іноді кордієрит. У районі Верхнього Побужжя в гранат-біотитових гнейсах є гіперстен, що пов'язано з вищими значеннями термодинамічних параметрів у південній частині Подільського блоку. На петрохімічних діаграмах гранат-біотитові гнейси потрапляють в поле теригенно-осадових порід алевро-псамітового складу [7].

Гіперстенові кристалосланці — масивні, дрібнозернисті породи темно-, зеленувато-сірого кольору; містять гіперстен як основний темноколірний мінерал. Трапляються серед гранітоїдів бердичівського комплексу у вигляді ксенолітів потужністю до 1,5 м з чіткими контактами. Мінеральний склад кристалосланців такий: гіперстен, біотит, ільменіт, плагіоклаз,

серед гранітоїдів, ppm
granitoids, ppm

	40/72-1	40/72b	186/81	196/81	86/74a	198/81
	0,33	0,25	0,45	0,21	0,38	1,08
	312,17	924,08	1761,25	827,44	966,80	885,81
	281,34	164,77	978,06	531,16	436,52	208,67
	695,46	672,59	3223,69	1633,15	1256,69	703,08
	81,74	145,75	457,66	253,14	224,46	142,17
	354,33	850,25	2123,44	1221,95	1239,57	805,63
	92,33	328,04	547,66	344,92	412,83	282,09
	14,80	11,77	18,49	19,63	24,46	17,54
	102,30	364,84	522,21	338,78	390,32	327,16
	14,83	55,10	80,96	42,60	57,28	48,20
	71,31	222,74	417,10	169,03	235,34	187,49
	14,34	37,75	69,04	32,09	42,51	34,00
	34,40	94,51	151,31	68,56	97,11	79,04
	3,86	9,72	19,72	8,39	10,38	9,51
	24,19	48,43	103,59	40,59	49,48	54,56
	3,55	6,03	13,07	4,81	6,10	7,75

амфібол, апатит, циркон, монацит, можливий сфен. Породи характеризуються високою магнізальністю ($f = 35 \%$), основним плагіоклазом (до бітовніту), високим вмістом Ni та Cr. На петрохімічних діаграмах фігуративні точки гіперстенових кристалосланців знаходяться в полі базитів, а на геохімічних діаграмах Ti — Cr, Ni — Cr вони попадають в поле коматитів і пікробазальтів [3].

Гранітоїди бердичівського комплексу — це корові ультраметаморфічні породи, які, на думку більшості дослідників цих порід, генетично і просторово пов'язані з супракрустальними товщами, за рахунок яких вони утворились. До бердичівського комплексу віднесені бердичівські гранат-біотитові граніти, гранат-біотитові мігматити, лейкократові апліто-пегматоїдні граніти, вінницити. Гранітоїди бердичівського комплексу середньозернисті, сірі, світло-сірі. Мінеральний склад, %: плагіоклаз (олігоклаз) — 35—60, ортоклаз — від 3—5 до 30, кварц — 10—30, біотит — 3—10, гіперстен —

1—5, гранат — 5—15, кордієрит — 0—3, апатит, циркон, монацит, пірит.

Апатити в метаморфічних породах березнинської товщі кількісно переважають монацит і циркон і є в них основним концентратором REE.

Ксеноліти метаморфічних порід березнинської товщі серед гранітоїдів бердичівського комплексу відібрані в кар'єрах сіл Крутнів, Кудинка, м. Сабарів, розташованих по берегах р. Південний Буг.

У кар'єрі с. Крутнів переважають гранат-біотитові граніти, вінницити і мігматити бердичівського комплексу, серед яких у вигляді ксенолітів різного розміру є гранат-біотитові, гіперстен-гранат-біотитові гнейси березнинської товщі. Розподіл REE в апатитах проаналізовано в ксеноліті гранат-біотитового гнейсу (пр. 78/73) потужністю 1,0 м, який контактує з пегматоїдними гранітами. Мінеральний склад центральної частини ксеноліта гнейсу (пр. 78/73-2), %: плагіоклаз — 45, кварц — 25, гранат — 10, біотит — 10, калієвий польовий шпат — 8, гіперстен — 2, пірит, апатит, циркон, монацит. Структура породи гранобластова, нерівномірнотзерниста. Плагіоклаз представлений олігоклазом з рідкісними антипертитами, калієвий польовий шпат — ортоклазом. Залізистість гіперстену 53 %. Вміст апатиту досягає 420 г/т, циркону 70, монациту 2 г/т (всюди без урахування втрат під час збагачення породи). Апатит безбарвний, прозорий, ізометричний або злегка подовжений, зі згладженими формами і шовковистим блиском. Апатити з центральної зони ксеноліта характеризуються максимальним вмістом REE (табл. 2, рис. 1), сума яких становить 4180,95 ppm. Пе-

Таблиця 2. Розподіл REE в апатитах із ксеноліта гранат-біотитового гнейсу серед гранітоїдів бердичівського комплексу, ppm

Table 2. Distribution of REE in apatites from xenolith of garnet-biotite gneiss among granitoids of the Berdychiv complex, ppm

Вміст REE в апатитах	Центр ксеноліта 78/73-2	Ксеноліт в контакті з пегматитом 78/73-1	Пегматит в контакті з ксенолітом 78/73а
Загальна сума REE	4180,95	3605,02	1819,44
Сума REE Се-групи	3785,15	3056,74	1220,35
Сума REE Y-групи	395,79	552,82	599,09
$(Ce/Yb)_N$	13,78	6,78	0,79
$(Eu/Eu^*)_N$	0,07	0,05	0,20

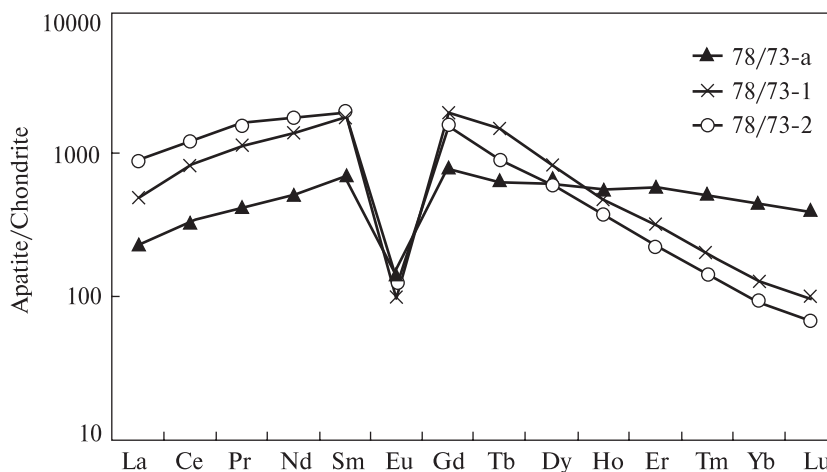


Рис. 1. Хондритнормований [6] розподіл REE в апатитах із зонального ксеноліта гранат-біотитового гнейсу та апатиту із гранітоїду: 78/73-а — пегматоїдний граніт; 78/73-1 — контакт між ксенолітом та пегматитом; 78/73-2 — центральна частина ксеноліта

Fig. 1. Chondrite-normalized [6] pattern of REE in apatites from the zonal xenolith of garnet-biotite gneiss and apatite from granitoid: 78/73-a — pegmatoid granite; 78/73-1 — contact between xenolith and pegmatite; 78/73-2 — central part of xenolith

реважають *REE* церієвої групи (3785,15 ppm), сума *REE* ітрієвої групи — 395,79 ppm. Ступінь фракціонування $(Ce/Yb)_N$ досягає 13,78.

Ближче до контакту з гранітом мінеральний склад гранат-біотитового гнейсу (пр. 78/73-1) практично мало змінюється. Так само присутні гранат, біотит, плагіоклаз, кварц, гіперстен, залізистість якого не змінюється і дорівнює 53 %. Із акцесорних переважають апатит (390 г/т), циркон (50 г/т), монацит (3 г/т). В апатитах зменшується сума *REE* за рахунок зменшення *REE* Се-групи, що, ймовірно, пов'язано зі збільшенням у пробі кількості монациту. Сума *REE* Y-групи, навпаки, збільшується. Причиною збільшення вмісту важких *REE* є вплив пегматоїдних гранітів, які контактують із ксенолітом, і в яких сума важких *REE* в апатитах дорівнює 599 ppm. Відомо [1], що в пегматитах, як правило, переважають мінерали ітрієвої групи. Пегматоїдний граніт (пр. 78/73а) має лейкократовий кварц-польовошпатовий склад з незначною добавкою інших мінералів, характерних для гранат-біотитових гранітів. Збільшується вміст монациту до 5 г/т. Граніт у вигляді більш лейкократової малопотужної зони контактує з гранат-біотитовим гнейсом. Такі лейкократові світлі зони, які часто оконтурюють гнейси, можливо утворились за рахунок анатектичних розплавів, з яких починається анатексис гранат-біотитових гнейсів.

Апатит у пегматоїдному граніті більший за розміром, безбарвний зі слабким зеленкуватим відтінком, округлої форми зі згладженими обрисами. Загальна сума *REE* в апатиті набагато нижча від апатитів ксеноліта і дорівнює 1819 ppm, (табл. 2, рис. 1), а сума *REE* ітрієвої групи більша, ніж в апатитах ксеноліта (599 ppm). Вміст Sc в апатиті низький —

0,39 ppm. Лінія розподілу *REE* Се-групи характеризується позитивним нахилом як в апатитах ксенолітів, так і гранітів. Апатити характеризуються від'ємною європієвою аномалією, яка в гранат-біотитових гнейсах ксенолітів дорівнює 0,07—0,05, а в пегматоїдному граніті — 0,20.

У березнинській товщі Подільського блоку присутні також гіперстенові кристалосланці. Для них характерний основний плагіоклаз. У центральних частинах ксенолітів це бітовніт — лабрадор (70—58 % An), основність яких на контакті з бердичівськими гранітами поступово знижується до олігоклазу № 29. Подібна зональність у ксенолітах гіперстенових кристалосланців простежена в кар'єрах с. Кудинка (пр. 80/73) та м. Сабарів (пр. 70/73).

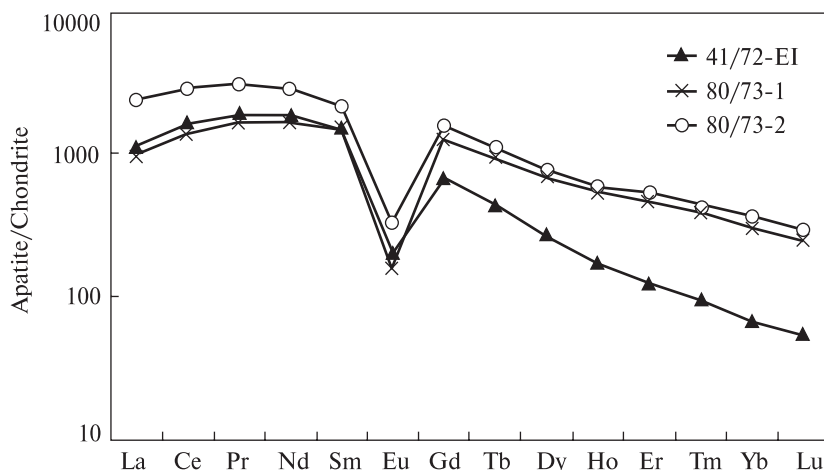
У кар'єрі с. Кудинка із ксеноліта гіперстенового кристалосланцю потужністю до 1 м відібрано ряд проб: із центру ксеноліта, із контакту з гранітом і в граніті. Кристалосланець із центральної зони ксеноліта (пр. 80/73-2) має масивний вигляд, темно-сірий, майже чорний

Таблиця 3. Розподіл *REE* в апатитах із ксеноліта гіперстен-біотитового кристалосланцю серед гранітоїдів бердичівського комплексу, ppm

Table 3. Distribution of *REE* in apatites from xenolith hyperstene-biotite crystalline shale among granitoids of Berdychiv complex, ppm

Вміст <i>REE</i> в апатитах	Центр ксеноліта 80/73-2	Ксеноліт в контактній зоні 80/73-1	Граніт бердичівський 41/72Е
Загальна сума <i>REE</i>	6807	3922,70	3894,45
Сума <i>REE</i> Се-групи	6216	3398,46	3710,54
Сума <i>REE</i> Y-групи	590,99	529,25	183,91
$(Ce/Yb)_N$	8,02	4,60	24,55
$(Eu/Eu^*)_N$	0,19	0,12	0,21

Рис. 2. Хондритнормований [6] розподіл *REE* в апатитах із зонального ксеноліта гіперстенового кристалосланцю та апатиту із граніту: 41/72-ЕІ — граніт; 80/73-1 — контакт ксеноліта з гранітом; 80/73-2 — центральна частина ксеноліта



колір, мінеральний склад, %: гіперстен — 40, плагіоклаз — 30, біотит — 20, кварц — 10, рудний, апатит, циркон, монацит. Плагіоклаз представлений бітовнітом (70 % An). Вміст апатиту складає 163 г/т, циркону 63 г/т, монациту 7,6 г/т. Сума REE в апатитах (табл. 3, рис. 2) — 6807 ppm зі значною перевагою легких REE (6216 ppm). Ближче до контакту з гранітом (пр. 80/73-1), плагіоклаз представлений олігоклазом (29 % An), кількість апатиту зростає до 628 г/т за рахунок звільненого кальцію у ході розкислення плагіоклазу. Але сума REE в апатитах зменшується до 3927 ppm, ймовірно у зв'язку зі збільшенням у контактній зоні кристалосланцю монациту до 35 г/т. Оскільки в нашому розпорядженні не було апатиту із граніту, який безпосередньо контактував з ксенолітом кристалосланцю пр. 80/73, ми проаналізували апатит із бердичівського граніту цього ж кар'єру. Породи кар'єру мають плямистий вигляд — у них знаходиться багато ксенолітів метаморфічних порід невеликого розміру, різ-

ного складу і кольору, і навколо кожного із ксенолітів розвиваються оторочки гранітоїдів відповідного кольору і складу. Навколо гранат-біотитових ксенолітів — світло- або рожево-сірі гранітоїди, збагачені гранатом. Навколо гіперстенових кристалосланців — переважно більш темно-сірі гранітоїди з гіперстеном та ільменітом. Тобто, це типова картина гранітизації метаморфічних порід шляхом, імовірно, біметасоматозу між метаморфічними породами ксенолітів і гранітоїдами бердичівського комплексу. Граніт (41/72E), апатит із якого проаналізований на REE, має такий склад: гіперстен, біотит, ільменіт, апатит, циркон, монацит, тобто за мінеральним складом відповідає гранітоїдам, які утворюють облямівки навколо гіперстенових ксенолітів. Із акцесорних мінералів у граніті значно переважає циркон. Наявність циркону, селективно ітрієвого мінералу, ймовірно, зменшила суму REE Y-групи в апатиті із граніту, надавши лінії розподілу важких REE більш від'ємного нахилу (табл. 3, рис. 2). Проте це мало позначилось на розподілі важких REE в апатиті із кристалосланцю, який знаходиться на контакті з гранітом (пр. 80/73-1). Можливо, це пов'язано з тим, що безпосередньо цей граніт не контактує з даним ксенолітом.

У кар'єрі м. Сабарів із ксеноліта гіперстенового кристалосланцю, потужністю до 60 см серед гіперстен-гранат-біотитових гранітоїдів, відібрані проби: перша — із центру ксеноліта, друга — в 20 см від контакту і третя — біля контакту. Мінеральний склад гіперстен-біотитового кристалосланцю в центрі ксеноліта (пр. 70/73): гіперстен, біотит, ільменіт, плагіоклаз, апатит, циркон, поодинокі зерна монациту. Із

Таблиця 4. Розподіл REE в апатитах із ксеноліта гіперстен-біотитового кристалосланцю серед гранітоїдів бердичівського комплексу, ppm
Table 4. Distribution of REE in apatites from xenolith of hypersthene-biotite crystalline shale among granitoids of Berdychiv complex, ppm

Вміст REE в апатитах	Центр ксеноліта 70/73	Ксеноліт, 20 см від контакту 70/73-2	Ксеноліт, 5 см від контакту 70/73-1
Загальна сума REE	3459,68	2217,44	2059,41
Сума REE Ce-групи	2926,18	1694,46	1755,86
Сума REE Y-групи	533,51	522,98	303,83
(Ce/Yb) _N	3,55	1,57	6,22
(Eu/Eu*) _N	0,14	0,17	0,22

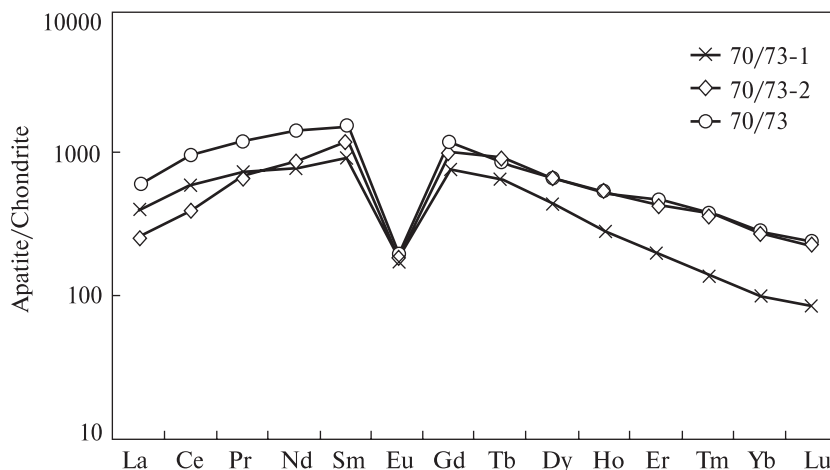


Рис. 3. Хондритнормований [6] розподіл REE в апатитах із зонального ксеноліта гіперстенового кристалосланцю: 70/73-1 — контакт (крайова частина ксеноліта); 70/73-2 — центр 2; 70/73 — центр 1 (пр. 70/73, м. Сабарів, кар'єр)

Fig. 3. Chondrite-normalized [6] pattern of REE in apatites from the zonal xenolith of hypersthene crystalline shale: 70/73-1 — contact (xenolith margin), 70/73-2 — center 2; 70/73 — center 1 (sample 70/73, Sabariv town, quarry)

породоутворювальних мінералів переважає магнезійний гіперстен із залізистістю 38 %. Із акцесорних — апатит. Плагіоклаз представлений бітовнітом. Сума *REE* в апатитах із центральної, найменш зміненої частини ксеноліта, дорівнює 3459 ppm (табл. 4, рис. 3). В 20 см від контакту з гранітом (пр. 70/73-2) плагіоклаз у кристалосланці представлений ще лабрадором (58—60 % An), але, судячи зі спектра розподілу *REE* Се-групи, в породі збільшується кількість монациту, в результаті чого зменшується сума легких *REE* в апатиті. На контакті з гранітом (пр. 70/73-1) — плагіоклаз вже представлений олігоклазом (29 % An), збільшуються залізистість гіперстену до 41 % і кількість циркону, з'являється гранат. У результаті збільшення селективно ітрієвих мінералів (циркон, гранат), які, ймовірно, забирають на себе частину важких *REE*, в апатитах граніту значно знижується сума *REE* Y-групи. Таким чином, у ксеноліті кристалосланцю поступово від центру ксеноліта до контакту з гранітом, зі зміною породоутворювальних і акцесорних мінералів

Таблиця 5. Розподіл *REE* в апатитах із двопіроксен-роговообманкового кристалосланцю тиврівської товщі, ppm
Table 5. Distribution of *REE* in apatites from two-pyroxene-hornblende crystalline shale of Tyvriv stratum, ppm

Вміст <i>REE</i> в апатитах	Центр ксеноліта 40/72-2	Ксеноліт біля контакту з гранітом 40/72-1	Граніт в контакті з ксенолітом 40/72в
Загальна сума <i>REE</i>	1498,47	1788,80	3012
Сума <i>REE</i> Се-групи	1368,60	1622,31	2538,01
Сума <i>REE</i> Y-групи	129,87	166,49	474,29
(Ce/Yb) _N	7,59	7,98	3,85
(Eu/Eu*) _N	0,53	0,47	0,10

у результаті біметасоматичних процесів, зменшується сума *REE* в апатитах — від 3459 ppm до 2217,44 і до 2059,70 ppm. У такому ж напрямі змінюються негативні аномалії, що виражені співвідношенням (Eu/Eu*)_N — від 0,07—0,17 до 0,22. Збільшується вміст скандію (0,24—0,57—0,91). Відношення (Ce/Yb)_i зростає до 6,2. Судячи з того, що в гіперстенових кристалосланцях м. Сабарів на контакті з гранітоїдами (пр. 70/73-1) з'являється гранат, можна вважати, що з досліджуваними кристалосланцями контактували саме гіперстен-гранат-біотитові гранітоїди.

Метаморфічні породи тиврівської товщі, відповідно до Кореляційної хроностратиграфічної схеми раннього докембрію Українського щита (2004), є найдавнішими породами дністровсько-бузької серії. Представлені вони піроксеновими гнейсами, двопіроксеновими і двопіроксен-роговообманковими кристалосланцями, які на всіх петрохімічних діаграмах діагностуються як первинно магматичні породи. Інтенсивність метаморфізму відповідає гранулітій фації. Породи тиврівської товщі асоціюють з чарнокітоїдами як гайворонського, так і побузького комплексів. У Гайворонському блоці двопіроксен-роговообманкові кристалосланці однакового мінерального складу мають різну генетичну природу: одні є частиною осадово-вулканогенного шаруватого розрізу дністровсько-бузької серії (як в кар'єрах м. Гайворон), інші наявні у вигляді ксенолітів серед ендербіто-гнейсів; є також дайкові утворення. У Подільському блоці двопіроксен-роговообманкові кристалосланці трапляються у вигляді ксенолітів серед чарнокітоїдів, переважно у куполоподібних підняттях. Один із таких ксенолітів відібрано у кар'єрі м. Літин.

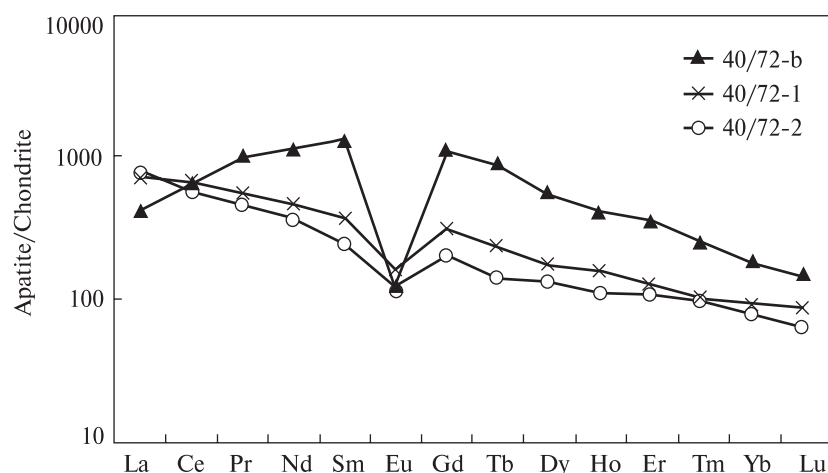


Рис. 4. Хондритнормований [6] розподіл *REE* в апатитах із зонального ксеноліта двопіроксен-роговообманкового кристалосланцю та апатиту із граніту: 40/72-б — граніт; 40/72-1 — контакт ксеноліта з гранітом; 40/72-2 — центральна частина ксеноліта

Fig. 4. Chondrite-normalized [6] pattern of *REE* in apatites from the zonal xenolith of two-pyroxene-hornblende crystalline shale and apatite from granite: 40/72-b — granite; 40/72-1 — contact of xenolith with granite; 40/72-2 — central part of xenolith

Ксеноліт двопіроксен-роговообманкового кристалосланцю тиврівської товщі серед чарнокітоїдів. У кар'єрі м. Літин переважають середньозернисті ендербіти (плагіоклазові чарнокітоїди), серед яких трапляються ксеноліти дрібно- та середньозернистих двопіроксен-роговообманкових кристалосланців від декількох сантиметрів до 1,5 м. Ксеноліти, ймовірно, мають різну природу, бо розрізняються за хімічним складом і за вмістом *REE* [3]. Нами розглянуто ксеноліт потужністю 1,0 м (пр. 40/72) з таким мінеральним складом: рогова обманка, гіперстен, діопсид, ільменіт, плагіоклаз, біотит, магнетит, апатит, циркон. Залізистість породи 48,6 %. За розподілом *REE* порода є нефракціонованою, відсутня європейська аномалія [3]. За відношенням $(Eu/Eu^*)_N$, яке дорівнює 0,98, її можна віднести до мантієних порід [1]. Кристалосланець цього ксеноліта характеризується найменшою сумою *REE*, порівняно з кристалосланцями інших ксенолітів цього ж кар'єру. Контакт із гранітоїдами різкий. Незначна зміна мінерального складу на контакті з гранітоїдами спостерігається у вузькій зоні не більше 1–3 см, появу якої Р.Я. Белевцев та ін. [2] вважають результатом дифузного масопереносу в умовах гранулітової фації. Мінеральний склад у центральній частині ксеноліта (пр. 40/72-2), такий, %: гіперстен — 13, діопсид — 12, рогова обманка — 35, плагіоклаз — 39, біотит — 1, рудний, апатит, циркон. Мінеральний склад вузької контактної зони (1–3 см), визначений під мікроскопом, є більш лейкократовим. Зникають рогова обманка і діопсид, зростає кількість гіперстену і плагіоклазу. Гіперстен стає більш залізистим, плагіоклаз — менш основним. Але кристалосланці із контакту, які досліджені за матеріалом проточних проб (пр. 40/72-1), майже не відрізняються за мінеральним складом від проб із центру ксеноліта. Залізистість гіперстену в центральній частині ксеноліта і ближче до контакту дорівнює, відповідно, 53 і 54 %. Основність плагіоклазу зменшується від 42 до 33 % Ап в контакті з гранітоїдом [3]. Апатити в кристалосланці переважають над іншими акцесорними мінералами. Вони представлені дрібними ізометричними і видовженими згладженими зернами, прозорими і напівпрозорими, які характеризуються низьким вмістом *REE*. Для апатитів із центральних частин ксеноліта сума *REE* сягає 1498 ppm і підвищується на контакті з гранітоїдами до 1788 ppm (табл. 5,

рис. 4). Підвищується вміст *REE* як церієвої, так й ітрієвої груп. Лінії розподілу *REE* в апатитах із центру ксеноліта кристалосланцю та із контакту з ендербітом мають однаковий від'ємний нахил. Відношення $(Ce/Yb)_N$ близькі — 7,59 і 7,98 відповідно. Від'ємна європейська аномалія змінюється від центру ксеноліта до контакту з гранітоїдом від 0,53 до 0,47. Близький і вміст в апатитах скандію — 0,25 і 0,33 ppm (табл. 1). Тобто незначні зміни у бік деякого розкиснення на контакті двопіроксен-роговообманкового кристалосланцю з гранітом відбулись. При цьому сума *REE* в апатиті із контактної зони ксеноліта з ендербітом не зменшилась, а, навпаки, збільшилась. Ще більша сума *REE* в апатиті із ендербіту (пр. 40/72b), який контактує з кристалосланцем. Ендербіт представлений крупнозернистою породою такого мінерального складу: гіперстен, біотит, ільменіт, плагіоклаз, кварц, апатит, циркон, монацит, рудний. Він різко відрізняється від кристалосланцю більшим вмістом *REE* в апатиті, сума яких дорівнює 3012 ppm з перевагою *REE* Се-групи. Від La до Sm спостерігається зростання легких *REE*, яке виражено позитивним нахилом лінії розподілу *REE*.

На відміну від ксенолітів метаморфічних порід березинської товщі, в яких сума *REE* в апатитах поступово зменшувалась від центральних частин ксенолітів до гранітоїдів, у двопіроксеновому кристалосланці спостерігається протилежна спрямованість — збагачення *REE* апатитів у контактній зоні кристалосланцю з гранітоїдами. За такого розподілу *REE* в апатитах із кристалосланцю і граніту (ендербіту) важко уявити, що кристалосланці були субстратом для ендербітів. Швидше за все, це були дайки, або, можливо, рестити, які протягом свого життя також, ймовірно, перетворюються на граніти, бо дифузні процеси, спричинені різним градієнтом концентрації компонентів у суміжних породах, також закінчуються гранітизацією, хоча відбуваються досить повільно.

Розподіл *REE* в апатитах із ендербітів Літинської структури. Щоб простежити розподіл *REE* в апатитах із ендербітів Літинської структури, які утворились у результаті гранітизації ендербіто-гнейсів гайворонського комплексу, проаналізовано апатити із ендербіто-гнейсу Одеського кар'єру (пр. 186/81) Середнього Побужжя, одного із імовірних представників субстрату для літинських ендербітів. В Одеському кар'єрі трапляються меланократо-

Таблиця 6. Розподіл *REE* в апатитах із ендербіто-гнейсу Одеського кар'єру і ендербітів Літинського кар'єру, ppm
 Table 6. Distribution of *REE* in apatites from enderbite-gneiss of Odesa quarry and enderbites of Lityn quarry, ppm

Вміст <i>REE</i> в апатитах із ендербітів	Одеський кар'єр		Літинський кар'єр	
	186/81	196/81	86/74a	198/81
Загальна сума <i>REE</i>	8726,00	4708,79	4483,05	2906,88
Сума <i>REE</i> Се-групи	7871,20	4342,42	3984,20	2486,33
Сума <i>REE</i> Y-групи	854,78	366,06	498,20	420,55
(Ce/Yb) _N	8,60	11,10	7,05	3,50
(Eu/Eu*) _N	0,11	0,18	0,19	0,18

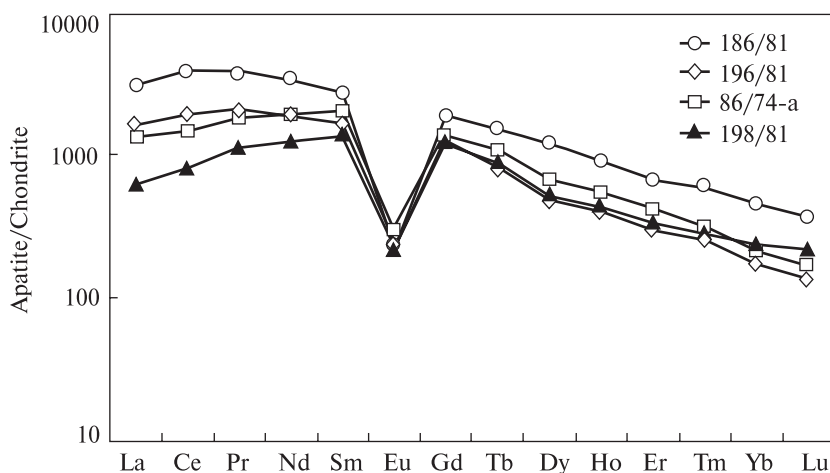


Рис. 5. Хондритнормований [6] розподіл *REE* в апатитах із ендербітів Літинської структури (див. пояснення у тексті)

Fig. 5. Chondrite-normalized [6] pattern of *REE* in apatites from enderbites of the Lityn structure (see explanation in the text)

ві, мезо- й лейкократові різновиди ендербіто-гнейсів із вмістом SiO_2 60,50–67,50 %. Всі вони мають однаковий мінеральний склад, але різні співвідношення мінералів. Переважають у кар'єрі двопіроксенові ендербіто-гнейси. Структура ендербіто-гнейсів гранобластова, гетерогранобластова, текстура гнейсоподібна. Мінеральний склад, %: плагіоклаз — 35–50, кварц 20–35, гіперстен — 5–15, діопсид — 2–10, ільменіт, циркон, апатит.

В Літинській структурі Подільського блоку простежується зональна будова, властива глибовим (куполоподібним) структурам інших щитів. За даними [4], у зовнішніх зонах глибових (куполоподібних) структур, як правило, переважають гнейсоподібні, більш меланократові породи, в яких ближче до центру структур збільшується калієвість, укрупнюється зернистість, з'являється біотит, що свідчить про наростання до центру купола інтенсивності переробки і плавлення порід. Такі структури розглядають як можливий механізм розростання континентальної кори. У кар'єрі м. Літин було відібрано двопіроксенові ендербіти із зовнішньої частини Літинської структури, які за хімічним і мінеральним складом подібні до

ендербіто-гнейсів Одеського кар'єру, і вважаються субстратом для ендербітів Літинської структури. Ближче до центру структури ендербіти стають одноріднішими. Із піроксенів залишається тільки гіперстен. Зі зростанням у породі вмісту калію збільшується кількість біотиту і акцесорного монациту, SiO_2 зростає до 70,50 % (пр. 198/81). У цьому ж напрямі в ендербітах зростає відношення $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ від 0,14 до 0,27. Ендербіто-гнейси і ендербіти характеризуються низьким вмістом *REE* (50–75 ppm). Основними концентраторами *REE* в них є апатити і циркони. У більш лейкократових ендербітах додається монацит. Апатити з ендербіто-гнейсу Одеського кар'єру (пр. 186/81) мають найбільшу суму *REE*, яка досягає 8726,70 ppm. В Літинській структурі, ймовірно, з посиленням гранітизації, сума *REE* в апатитах зменшується. У двопіроксенових ендербітах вона складає 4708,79 ppm, у більш лейкократових, збагачених монацитом (пр. 198/81), знижується до 2906,88 ppm, переважно за рахунок збільшення в породі вмісту селективно церієвого монациту. Розподіл *REE* в апатитах ендербіто-гнейсів і ендербітів характеризується перевагою легких *REE*, пози-

тивним їх нахилом, особливо в більш лейкократових ендербітах, і чітко від'ємним нахилом лінії розподілу важких *REE*, присутністю негативної європієвої аномалії (табл. 6, рис. 5), яка в усіх описаних у цій статті ендербітах Літинської структури дорівнює 0,18–0,19 ppm. Вміст ітрію в ендербіто-гнейсах достатньо високий (табл. 1). Ітрій, як вважає [5], не утворює в породах гранодіоритового складу власних мінералів, але може накопичуватися в апатитах цих порід. Вміст скандію в апатитах зростає від меланократових ендербіто-гнейсів до лейкократових ендербітів Літинського кар'єру (в останніх він досягає 1,08 ppm).

Скандій, як відомо, більше характерний для меланократових порід, він розсіяний у піроксенах, амфіболах, біотитах. Тому в апатиті меланократових порід скандію мало. Вміст його в апатиті зростає в більш лейкократових породах, збіднених на темноколірні мінерали.

Розподіл *REE* в апатитах із ендербіто-гнейсів Середнього Побужжя і ендербітів Літинської структури Подільського блоку (Верхнього Побужжя) свідчить, що ми маємо практично однакову породу, яка в Літинській структурі зазнала більшої гранітизації (метасоматоз, анатексис), у результаті в породах з'явилися монацити, які перебрали від апатитів на себе частину *REE*. Експериментальні роботи стосовно розчинності акцесорних апатитів, монацитів і ксенотимів у гранітних розплавах показали можливість утворення монациту за рахунок розчинення апатиту [8].

Висновки. Метою роботи було простежити розподіл *REE* в апатитах метаморфічних порід, які знаходяться у вигляді ксенолітів серед гранітоїдів. Апатити є одними із найбільш розповсюджених, наскрізних акцесорних мінералів грануліто-гнейсових порід Побужжя. Апатит активно реагує на присутність селективних у відношенні до *REE* монациту, циркону, гранату.

У результаті вивчення розподілу *REE* в апатитах із метаморфічних порід, наявних у вигляді ксенолітів (скіалітів) серед бердичівських гранітів і чарнокітоїдів Подільського блоку, встановлено, що апатити грануліто-гнейсових порід характеризуються невеликим фракціонуванням *REE* з перевагою легких *REE* за різкого дефіциту європію. Максимальний вміст *REE* в метаморфічних породах березнинської товщі характерний для апатитів більш меланократових порід (4180–6807 ppm), тобто для

метаморфічних порід центральних зон ксенолітів. У контакті з гранітоїдами метаморфічні породи березнинської товщі розкислюються в результаті біметасоматичних процесів. Вміст *REE* в апатитах, як правило, знижується від центральних зон ксенолітів до контакту з гранітами і далі в гранітах. У результаті всі ксеноліти стають зональними, бо одним із факторів, які регулюють диференціацію *REE*, є кислотність-основність мінералоутворювального середовища [1].

У розглянутому нами двопіроксеновому кристалосланці тиврівської товщі спостерігається протилежна спрямованість розподілу *REE* в апатитах. Від центральної зони ксеноліта до контакту з гранітом сума *REE* в апатитах збільшується, тому що в граніті (ендербіті) набагато більше *REE*, ніж у кристалосланці. Тобто, в біметасоматичних процесах, спричинених різним градієнтом концентрації компонентів у породах, що контактують, зміна їх відбувається у напрямі від порід з більшою їх концентрацією — до порід з меншою концентрацією. Припускаючи, що породи субстрату переважно збагачені на *REE*, доходимо висновку, що метаморфічні породи березнинської товщі — субстрат для гранітоїдів бердичівського комплексу, в апатитах якого більше *REE*, ніж у гранітоїдах.

Двопіроксеновий кристалосланець не є субстратом для суміжних з ним ендербітів. Швидше за все, це дайка, апатити якої збіднені на *REE*, на відміну від суміжних з ними ендербітів, в яких апатити збагачені рідкісноземельними елементами.

Розподіл *REE* в апатитах із ендербіто-гнейсів Середнього Побужжя і ендербітів Літинської структури Подільського блоку (Верхнього Побужжя) свідчить про те, що ми маємо практично однакову породу, яка в Літинській структурі зазнала більшої гранітизації (метасоматоз, анатексис), в результаті ендербіти збагатилися калієм та біотитом. З'явився монацит, який перебрав від апатитів на себе частину *REE*.

Експериментальні роботи щодо розчинності акцесорних апатитів, монацитів і ксенотимів у гранітних розплавах показали можливість утворення монациту за рахунок розчинення апатиту [8]. Таким чином, можна вважати, що розподіл *REE* в апатитах із ендербітів Літинської структури підтверджує вірогідність утворення ендербітів у результаті гранітизації ендербіто-гнейсів гайворонського комплексу.

Статтю підготовлено у зв'язку з виконанням конкурсної теми "Геохімія рідкісноземельних елементів в акцесорних та породоутворюючих міне-

ралах гранітоїдів Українського щита", Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М.П. Семененка НАН України (2016–2020 рр.).

ЛІТЕРАТУРА

1. Балашов Ю.А. Геохимия редкоземельных элементов. М.: Наука, 1976. 267 с.
2. Белевцев Р.Я., Дудко В.С., Белевцев А.Р. Диффузионный массоперенос при метаморфизме в докембрии. Ин-т геохимии окружающей среды НАН Украины. Киев, 2001. 204 с.
3. Лесная И.М. Геохронология чарнокитоидов Побужья. Киев: Наук. думка, 1988. 135 с.
4. Летников Ф.А. Гранитоиды глыбовых областей. Новосибирск: Наука, 1975. 213 с.
5. Михайлов В.А. Редкоземельные руды мира. Геология, ресурсы, экономика. Киев: Изд.-полиграф. комбинат "Киев. ун-т", 2010. 223 с.
6. Тейлор С.Р., Мак-Леннан С.М. Континентальная кора, ее состав и эволюция. Пер. с англ. М.: Мир, 1988. 384 с.
7. Щербак Н.П. Петрология и геохронология докембрия западной части Украинского щита. Киев: Наук. думка, 1975. 268 с.
8. Wolf M.B., London D. Incongruent dissolution of REE and Sr-rich apatite in peraluminous granitic liquids: Differential apatite, monazite and xenotime solubilities during anatexis. *Amer. Mineral.* 1995. **80**. P. 765–775. <https://doi.org/10.2138/am-1995-7-814>

Надійшла 22.03.2020

REFERENCES

1. Balashov, Yu.A. (1976), *Geokhimiya redkozemelnykh elementov*, Nauka, Moscow, RU, 267 p. [in Russian].
2. Belevtsev, R.Ya., Dudko, V.S. and Belevtsev, A.R. (2001), *Diffusion mass transfer under metamorphism in the Precambrian*, Inst. of Environmental Geochem. NAS of Ukraine, Kyiv, UA, 204 p. [in Russian].
3. Lesnaya, I.M. (1988), *Geokhronologiya charnokitoidov Pobuzh'ya*, Nauk. dumka, Kyiv, UA, 135 p. [in Russian].
4. Letnikov, F.A. (1975), *Granitoidy glybovykh oblastey*, Nauka, Novosibirsk, RU, 213 p. [in Russian].
5. Mikhailov, V.A. (2010), *Rare earth ores of the world. Geology, resources, economics*, Polygraph Publ. House Kyiv Univ., UA, 223 p. [in Russian].
6. Taylor, S.R. and MacLennan, S.M. (1988), *The continental crust: its composition and evolution*, Per. s angl., Mir, Moscow, RU, 384 p. [in Russian].
7. Shcherbak, N.P. (1975), *Petrologiya i geokhronologiya dokembriya Zapadnoy chasti Ukrainського Shchita*, Nauk. dumka, Kyiv, UA, 268 p. [in Russian].
8. Wolf, M.B. and London, D. (1995), *Amer. Mineral.*, Vol. 80, pp. 765-775. <https://doi.org/10.2138/am-1995-7-814>

Received 22.03.2020

O.M. Ponomarenko, DrSc (Geology & Mineralogy), Academician of NAS of Ukraine, Director
E-mail: pan.igmof@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-5179-6091>

A.I. Samchuk, DrSc (Chemistry), Chief Research Fellow
E-mail: igmrsamchuk@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-8992-9112>

I.M. Lisna, PhD (Geology & Mineralogy), Senior Research Fellow
E-mail: Lesirmich@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0001-7545-1752>

L.V. Somka, Researcher Fellow
E-mail: liudmylas26@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-7059-2502>

I.A. Shvaika, PhD (Geology), Researcher Fellow
E-mail: ishvaika@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-9585-4380>

L.I. Proskurka, Junior Research Fellow.
E-mail: igmrproskurko@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-5760-2000>

I.D. Shvaika, Lead Engineer
E-mail: igor.d.shvayka@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-1908-6639>

K.V. Vovk, PhD (Geology), deputy director
E-mail: vovkaterina90@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-5076-260X>

M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine
34, Acad. Palladin Ave., Kyiv, Ukraine, 03142

FEATURES OF REE DISTRIBUTION IN APATITES OF GRANULITE-GNEISS ROCKS OF PODILSK BLOCK UKRAINIAN SHIELD

As a result of studying of the distribution of rare earth elements (REE) in apatites from metamorphic rocks that occur as xenoliths (skialites) among Berdychiv granites and charnockites of the Podilsk block of the Dniester-Bug Megablock of the Ukrainian Shield, it was found that apatites of granulite-gneiss rocks are characterized by a low fractionation of REE with predominant light REE and sharp deficiency europium, which is characteristic of calc-alkaline rocks of other shields. As to the metamorphic rocks of the Bereznin stratum the maximum content of REE found in apatites is characteristic of melanocratic rocks which commonly found in the central zones of metamorphic xenoliths. At the contact with granitoids the content of REE decreases. All xenoliths became zonal due to the such factor as acid-basic ratio that control the differentiation of REE in mineral-forming environment. It has been suggested that the spectra of REE distribution found in apatites from metamorphic rocks, which occur as of xenoliths among granitoids, may indicate the nature of xenoliths. They can be either the substrate for these granitoids or occur as dyke or restite formations.

Keywords: apatites, rare earth elements, granitization of gneisses and crystalline shist, Ukrainian Shield.