

<https://doi.org/10.15407/mineraljournal.41.02.003>  
УДК 550.4:549.02 (477.46)

О.М. Пономаренко<sup>1</sup>, Т. Мікуш<sup>2</sup>, С.І. Курило<sup>1</sup>, С.М. Бондаренко<sup>1</sup>,  
О.В. Заяць<sup>1</sup>, О.В. Грінченко<sup>3</sup>, В.О. Сьомка<sup>1</sup>, С. Єлень<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення  
ім. М.П. Семененка НАН України  
03142, м. Київ, Україна, пр-т Акад. Палладіна, 34  
E-mail: igmrponomarenko@gmail.com, Kurylo.Sergiy@gmail.com,  
Sbond.igmr@gmail.com, syomka1949@gmail.com

<sup>2</sup> Інститут наук про Землю, Словацька Академія наук  
974 01, м. Банська Бистриця, Словаччина, вул. Думбієрська, 1  
E-mail: mikus@savbb.sk, jelen@savbb.sk

<sup>3</sup> Київський національний університет імені Тараса Шевченка  
Навчально-науковий інститут "Інститут геології"  
03022, м. Київ, Україна, вул. Васильківська, 90  
E-mail: alexgrin@univ.kiev.ua

## НОВІ ДАНІ ПРО АКЦЕСОРНІ МІНЕРАЛИ ІЗ РУСЬКОПОЛЯНСЬКИХ ГРАНІТІВ КОРСУНЬ-НОВОМИРГОРОДСЬКОГО ПЛУТОНУ УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА

Зацікавленість руськополянськими сублужними рідкіснометалевими гранітами обумовлена широким спектром у них акцесорних мінералів. Досліджень з визначення акцесорних мінералів та їх хімічного складу в цих гранітах проводилося мало. *Мета роботи* — вивчення акцесорної мінералізації гранітів Руськополянського масиву та виявлення головних мінералів-концентраторів рідкісних елементів гранітів. Дослідження зразків гранітів з глибокої свердловини, пробуреної в південно-східній рідкіснометалевій частині Руськополянського масиву (с. Руська Поляна) здійснено за допомогою сканувального електронного мікроскопа *JEOL JSM-6700F* з ЕДС *JED-2300* (ІГМР НАН України, м. Київ), на мікроаналізаторі *JEOL JXA-8200* (Технічний центр НАН України, м. Київ) та на приладі *Microprobe JEOL JXA-8530F* (Інститут наук про Землю Словацької АН, м. Банська-Бистриця). За результатами досліджень у руськополянських гранітах визначено такі акцесорні мінерали: циркон, торит, флуоро-апатит, ксенотим-(Y), монацит-(Ce), колумбіт-(Fe), ільменорутит, рутил, ільменіт, гадолініт-(Y), (хінганіт-(Y)) (?), синхізит-(Ce), бастнезит-(Y), паризит-(Ce) (?), флюорит. Особливості хімічного складу більшості з них розглянуто у цій статті. Склад акцесорних мінералів руськополянських гранітів є практично ідентичним до складу рідкіснометалевих гранітів пізніх, пов'язаних із плутонічною діяльністю, фаз коростенського комплексу. Наявність легких компонентів створила умови для переробки гранітів на постмагматичних стадіях, що призвело до двостадійного формування рідкіснометалевої мінералізації. Для ранньої стадії характерна циркон-апатит-ксенотим-монацит-гадолініт-колумбіт-ільменітова асоціація, для пізньої — флюорит-синхізит-паризит-бастнезит-ільменорутилова.

*Ключові слова:* акцесорні мінерали, рідкісні елементи, рідкіснометалеві граніти, Руськополянський масив, Корсунь-Новомиргородський плутон, Український щит.

**Вступ.** Широкий спектр виявлених акцесорних мінералів зумовив практичний і науковий інтерес до рідкіснометалевих гранітів Руськополянського масиву. Сучасні уявлення про геологічну будову та мінеральний склад гранітів

масиву формувались завдяки епізодичним геологічним роботам протягом 40 років. Уперше ці граніти привернули увагу дослідників після комплексу геологічних робіт Черкаської експедиції у 1970—1980-х рр. У північно-східній частині Корсунь-Новомиргородського плутону було виокремлено Черкаський масив гранітів сублужного складу, що нині має назву Русь-

© О.М. ПОНОМАРЕНКО, Т. МІКУШ, С.І. КУРИЛО,  
С.М. БОНДАРЕНКО, О.В. ЗАЯЦЬ, О.В. ГРІНЧЕНКО,  
В.О. СЬОМКА, С. ЄЛЕНЬ, 2019

кополянський. За результатами пошукових робіт у межах Руськополянського масиву виділено геохімічне рудоносне поле рідкіснометалевої мінералізації [6]. Після тривалої перерви, уже у 2009 році, ДРГП "Північгеологія" відновила пошуково-розвідувальні роботи на найбільш перспективній із металогенічної точки зору ділянці масиву. Нами досліджено зразки із глибокої свердловини, пробуреної поблизу с. Руська Поляна, результати викладено в цій статті.

**Мета роботи** — вивчення акцесорної мінералізації гранітів Руськополянського масиву та виявлення головних мінералів-концентраторів рідкісних елементів гранітів.

**Характеристика зразків.** Електронно-мікроскопічне вивчення акцесорних та породотвірних мінералів виконано у чотирьох зразках із кернів гранітів, відібраних зі свердловини 8568, пробуреної у південно-східній рідкіснометалевої частині масиву, в районі села Руська Поляна. Досліджені аншліфи гранітів із чотирьох інтервалів глибини свердловини, м: 156,1—158,0, 174,6—176,5, 225,0—227,0 та 239,6—242,0.

Граніти з різних інтервалів розрізняються за кольором, структурою та мінеральним складом, а саме: гл. 156,1—158,0 м *сіро-рожеві дрібно-середньозернисті* з невеликою кількістю виділень ксеноморфних зерен мікрокліну та ідіоморфних таблитчастих кристалів плагіоклазу розміром до 1 см; гл. 174,6—176,5 м — *світло-рожеві середньо-крупнозернисті* з рідкісними порфіроподібними зональними овоїдами мікрокліну довжиною до 3 см; гл. 225,0—227,0 м спостерігаються *сірі середньо-крупнозернисті граніти* з незначною кількістю ксеноморфних виділень мікрокліну, рідше овоїдів (розміром до 2 см); гл. 239,6—242,0 м — *рожево-сірі середньо-крупнозернисті*, змінні.

**Методи дослідження.** Хімічний склад акцесорних мінералів визначено за допомогою сканувального електронного мікроскопа *JEOL JSM-6700F*, обладнаного енергодисперсійною системою для мікроаналізу *JED-2300* в ІГМР ім. М.П. Семененка НАН України (оператор Ю.А. Литвиненко). Умови аналізу: прискорювальна напруга 20 кВ, струм зонда 7,5 нА, діаметр зонда 1—2 мкм. Час набору спектра характеристичного рентгенівського випромінювання склав 60 с. Як стандарти використано чисті метали — для Si, Ti, Al, Fe, Mn та синтетичні  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ , MgO,  $\text{CaF}_2$ , KCl для Na, Mg, Ca, K відповідно.

Також визначення хімічного складу акцесорних мінералів здійснено у Технічному центрі НАН України на електроннозондовому приладі *JEOL JXA-8200* (оператор В.Б. Соболев). Умови аналізу: прискорювальна напруга 15 кВ, сила струму зонда 10 нА, діаметр зонда 1—5 мкм, час накопичення сигналу 20—30 с. Еталоном слугували хімічно чисті оксиди металів, синтетичні матеріали та деякі природні мінерали.

Дослідження хімічного складу акцесорних мінералів виконано в Інституті наук про Землю Словацької АН, м. Банська-Бистриця, на приладі *Microprobe JEOL JXA-8530F* (оператор Т. Мікуш). Вимірювання аналітичних ліній здійснено за таких умов: прискорювальна напруга — 15 кВ, сила струму зонда — 20 нА, локальність зонда 3—10 мкм залежно від розміру та однорідності зерна. Значення інтенсивності аналітичних ліній перераховано на концентрацію за методом *ZAF*-корекції. Час вимірювання головних аналітичних ліній 10—20 с, фонові — 5—10 с. Стандартами мінералів слугували: Y +  $\text{REE}_2\text{O}_3$  — фосфати рідкісноземельних елементів;  $\text{PbO}_2$  — крокоїт;  $\text{ThO}_2$  — торіаніт;  $\text{UO}_2$  — уранініт; MgO, CaO — діопсид; F — флюорит;  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  — ортоклаз;  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  — альбіт;  $\text{ZrO}_2$  — циркон;  $\text{P}_2\text{O}_5$  — ксенотим, апатит; ZnO — вілеміт; FeO — гематит; MnO — родоніт;  $\text{TiO}_2$  — рутил;  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{HfO}_2$  — оксид цирконію; SrO — целестин; Cl — тугупіт;  $\text{SO}_3$  — барит.

**Геологічне положення та будова Руськополянського масиву.** У геоструктурному плані масив розташований у північно-східній частині Корсунь-Новомиргородського плутону Інгільського мегаблоку Українського щита (рис. 1). Овальної форми масив, орієнтований у північно-західному напрямі, займає площу близько 400 км<sup>2</sup>. У південній частині він охоплює витягнутий у північно-західному напрямі однойменний масив габроноритів та анортозитів. Північний контакт анортозитового масиву з руськополянськими гранітами проходить по Руськополянському розлому. На півдні та сході Руськополянський масив контактує з гнейсами чечеліївської світи та вміщує їх у вигляді ксенолітів. Масив розміщений у зоні скидів північно-західного простягання. Згідно з уявленнями геологів Черкаської ГРЕ, руськополянські сублужні граніти поширені в апікальній частині Корсунь-Шевченківського масиву рапаківі. Вони не виходять на денну поверхню,

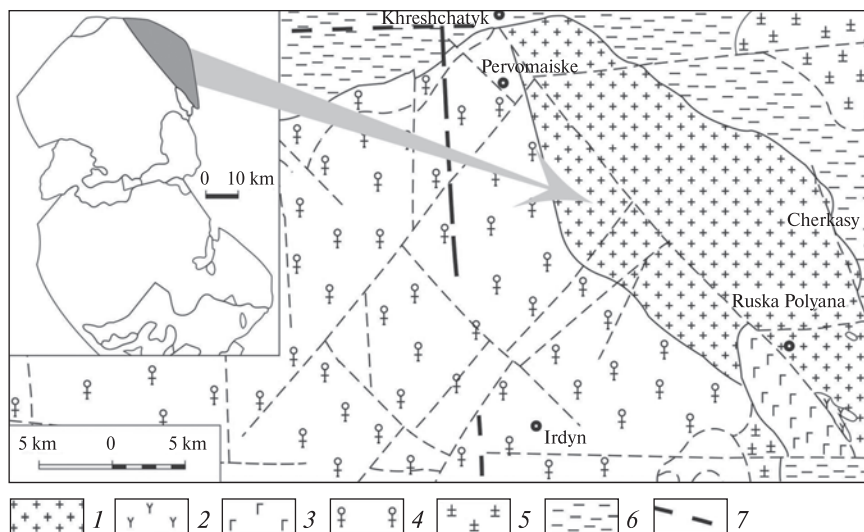


Рис. 1. Схематична геологічна карта кристалічного фундаменту із змінами. М-б 1 : 200000. Державна геологічна карта України. Центральнорусько-українська серія. Аркуш М-36-XX (Корсунь-Шевченківський), за матеріалами ДП "Північгеологія" [12]: 1 — граніти Руськополянського масиву; 2 — сієніти, кварцові сієніти Руськополянського масиву; 3 — руськополянські габро-анортозити та анортозити; 4 — рапаківи Корсунь-Новомиргородського плутону; 5 — кіровоградські граніти; 6 — породи інгуло-інгулецької серії; 7 — ймовірні головні розривні порушення

Fig. 1. Schematic geological map of the crystalline basement with some modifications. Scale 1 : 200 000. Central-Ukrainian series. M-36-XX (Korsun-Shechenkyivskyi) on materials of the State Enterprise "Pivnichgeologiya" [12]. Symbols: 1 — granites of the Ruska Polyana massif; 2 — syenites, quartz syenites of the Ruska Polyana massif; 3 — Ruska Polyana gabbro-anorthosites and anorthosites; 4 — rapakivi and Korsun-Novomyrhorod pluton; 5 — Kirovohrad granites; 6 — Ingul-Ingulets series; 7 — probable main faults

а перекриті майже стометровою осадовою товщею. Тому вивчення гранітів можливе лише за результатами глибокого буріння.

**Петрографічна характеристика гранітів.** Досліджені граніти представлені різноманітними за кольором, текстурою та структурою гранітами. Текстура їх масивна, на окремих ділянках трахітоїдна і директивна. Структура: ксеноморфнозерниста (аплітова), гіпідіоморфнозерниста, порфіроподібна, пойкило-пегматитова та катакластична. У гранітах широко з однаковою інтенсивністю за глибиною проявлені аутометасоматичні процеси, але не зафіксовано метасоматичну зональність. У верхній частині розрізу свердловини (гл. 140,0—159,0 м) преvalюють мусковіт-біотитові граніти, у глибшій — біотитові та амфібол-біотитові граніти. Взагалі руськополянські граніти бувають мусковіт-біотитовими, біотитовими та амфібол-біотитовими, іноді за складом відповідають граносієнітам [15]. Мінеральний склад досліджених гранітів, об'ємн. %: мікроклін — 40—60; плагіоклаз — 10—20; кварц — 10—30; біотит (амфібол) — 5—10; вторинні — хлорит, серицит, гематит; акцесорні — флюорит, циркон, монацит, ксенотим, аланіт.

Мікроклін утворює ксеноморфні, таблитчасті, іноді — порфіроподібні (до 20 мм), зерна з мікрографічною пегматоїдною структурою. Агрегати мікрокліну містять стрічкоподібні пертити альбіту і часто катаклязовані. Серед новоутворень у мікроклін-пертитах присутні гнізда незміненого біотиту та кварцу. У мікрокліні постійно фіксуються реліктові зерна олігоклазу.

Плагіоклаз (№ 0—20) присутній переважно у вигляді реліктових зерен (розміром 0,1—2,0 мм) розташовується у мікрокліні, де його часто заміщують серицит і каолініт. Для нього характерні полісинтетичні двійники за альбітовим законом.

Кварц відіграє істотну роль у складі гранітів. Переважають ксеноморфні зерна (розміром 0,1—5,0 мм) з хвилястим та мозаїчним згасанням, особливо на ділянках катаклазу породи. На стиках калієвого польового шпату і плагіоклазу зрідка утворюються хробакоподібні мірмекітові вrostки кварцу. Спостерігаються мікротріщини дроблення, виповнені дрібними агрегатами пізнього кварцу з нормальним згасанням.

Біотит присутній у незначній кількості — це окремі лусочки та пластинки завдовжки



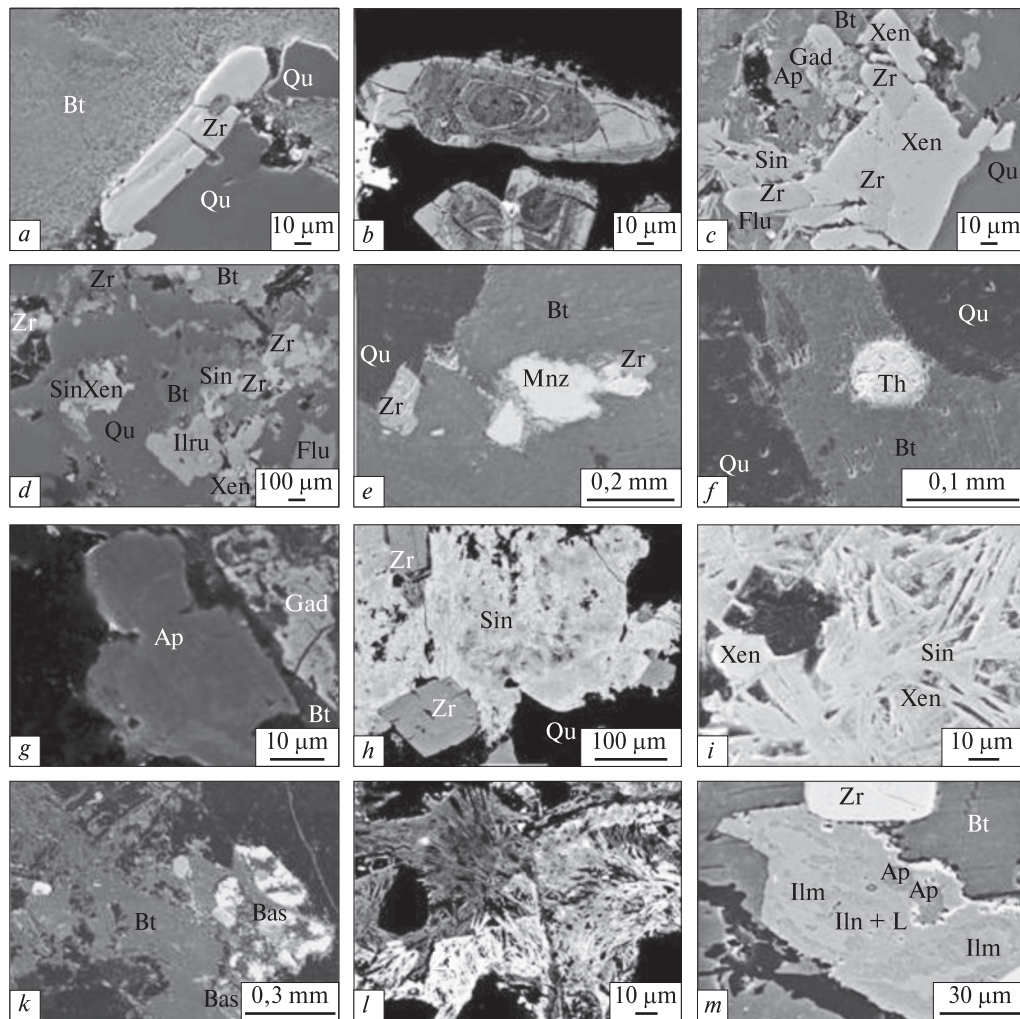


Рис. 2. Акцесорні мінерали руськополянських гранітів (SEI): *a* — довгопризматичний кристал циркону (Zr) в зростках із біотитом (Bt) та кварцом (Qu), гл. 239,6—242,0 м; *b* — циркони з чітко вираженими ядрами, гл. 239,6—242,0 м; *c* — скупчення акцесорних мінералів (циркон, ксенотим-(Y) (Xen), флуоро-апатит (Ap), гадолініт-(Y)-синхізит-(Ce) (Sin), флюорит (Flu)) серед кварц-біотитових агрегатів, гл. 239,6—242,0 м; *d* — ільменорутит (Ilru), ксенотим-(Y), синхізит-(Ce), флюорит, циркон у біотит-польовошпатовій масі, гл. 239,6—242,0 м; *e* — включення циркону та монациту-(Ce) (Mnz) у біотиті, гл. 174,6—176,5 м; *f* — торит (Th) в біотиті, гл. 156,1—158,0 м; *g* — флуоро-апатит в асоціації з гадолінітом-(Y) (Gad), гл. 239,6—242,0 м; *h* — скупчення синхізиту-(Ce) навколо цирконів у кварці, гл. 239,6—242,0 м; *i* — релікти ксенотим-(Y) серед синхізиту-(Ce), гл. 239,6—242,0 м; *k* — скупчення зерен псевдоморфоз бастнезиту-(Y) (Bas) по аланіту в біотиті, гл. 225,0—227,0 м; *l* — розвиток рідкісноземельного гідрокарбонату (темно-сіре) за рахунок синхізиту-(Ce) (біле), гл. 239,6—242,0 м; *m* — ільменіт (Ilm) частково лейкоксенований (Ilm + L) в оточенні біотиту та циркону, гл. 225,0—227,0 м

Fig. 2. Accessory minerals of the Ruska Polyana granites (SEI): *a* — elongate-prismatic crystal of zircon (Zr) with biotite (Bt) and quartz (Qu), depth 239.6—242.0 m; *b* — zircons with distinct cores, depth 239.6—242.0 m; *c* — cluster of accessory minerals (zircon, xenotime-(Y) (Xen), fluorapatite (Ap), gadolinite-(Y)-synchisite-(Ce) (Sin), fluorite (Flu)) in quartz-biotite aggregates, depth 239.6—242.0 m; *d* — ilmenorutile (Ilru), xenotime-(Y), synchisite-(Ce), fluorite, zircon in biotite-feldspar matrix, depth 239.6—242.0 m; *e* — inclusion of zircon and monazite-(Ce) (Mnz) in biotite, depth 174.6—176.5 m; *f* — thorite (Th) in biotite, depth 156.1—158.0 m; *g* — fluorapatite associated with gadolinite-(Y) (Gad), depth 239.6—242.0 m; *h* — clusters of synchisite-(Ce) around zircons in quartz, depth 239.6—242.0 m; *i* — relics of xenotime-(Y) among synchisite-(Ce), depth 239.6—242.0 m; *k* — bastnaesite-(Y) pseudomorphs (Bas) after allanite in biotite, depth 225.0—227.0 m; *l* — rare earth bicarbonate (dark gray) formed after synchisite-(Ce) (white), depth 239.6—242.0 m; *m* — partially leucoxenized ilmenite (Ilm + L) surrounded by biotite and zircon, depth 225.0—227.0 m

0,1—5,0 мм, а також гнізда. Тут він частково хлоритизований і заміщений вторинним мусковітом. Переважні вторинні зміни характери-

зуються таким мінеральним складом: хлорит-мусковіт-гематит по біотиту, серицит-каолініт (?) по олігоклазу.

**Результати мінералогічних досліджень.** На підставі результатів рудно-мінералогічних та електронно-мікроскопічних досліджень зразків керну зі свердловини виявлено, що руськополянські граніти мають різноманітну за складом рідкіснометалеву мінералізацію. У згаданих вище гранітах описано понад 20 акцесорних та рудних мінералів. Раніше у гранітах було визначено рідкісні акцесорні мінерали — евксеніт, аланіт, бастнезит, каситерит, топаз, бритоліт та ін. [1, 4, 6, 15]. Багато з цих мінералів мають подібні зовнішні ознаки та оптичні властивості, часто є метаміктними і рентгеноаморфними. За деяким винятком акцесорні фосфати та карбонати характеризуються складним і нестабільним хімічним складом, що обумовлює змінність їхніх фізичних властивостей. У цьому контексті електронно-мікроскопічні дослідження є найбільш ефективними для вивчення речовинного складу мінералів.

У цій статті розглянуто лише типові мінерали, досліджені нами останнім часом.

**Мінерали рідкісних та радіоактивних елементів.** Циркон — типовий акцесорний мінерал ранньої стадії в руськополянських гранітах (рис. 2, *a, b, c, d, e, h, m*). Габітус його кристалів

змінюється від довго- до короткопризматичного (рис. 2, *a, b, c, h*). У зрізах кристалів мінералу спостерігається малаконізація, що має часто зональний розвиток (рис. 2, *a, b*). За даними мікросондового аналізу, в зонах малаконізації спостерігається значна концентрація *REE*, Ca, Fe, H<sub>2</sub>O, U, Th та Pb (табл. 1, ан. 3). Також у малаконізованих цирконах збільшується вміст Hf, співвідношення ZrO<sub>2</sub> до HfO<sub>2</sub> варіює від 37 у незмінених кристалах до 17 у малаконізованих. Внутрішня будова кристалів у багатьох випадках складна, зумовлена наявністю в деяких цирконах древніших ядер (рис. 2, *b*). Подібна складна внутрішня будова притаманна цирконам із гранітоїдів Корсунь-Новомиргородського плутону.

Торит із домішками урану трапляється у вигляді дрібних (до 0,3 мм) зерен округлої форми, оточених "облямівками" плеохроїчних двориків (рис. 2, *f*). Безпосередньо біля зерен ториту спостерігаються структури радіальної тріщинуватості. В ореолах радіоактивної дії розвиваються гідроксиди заліза. Присутність мінералу підтверджено результатами *EDS*.

**Мінерали групи фосфатів.** Уміст фосфору в розплавах рідкіснометалевих гранітів та його

Таблиця 1. Результати мікросондового аналізу цирконів з руськополянських гранітів, мас. %

Table 1. Results of microprobe analysis of zircons from Ruska Polyana granites, wt. %

| Компонент                          | Номер аналізу  |       |       | Компонент  | Номер аналізу                            |       |       |
|------------------------------------|----------------|-------|-------|------------|--|-------|-------|
|                                    | 1              | 2     | 3     |            | 1  | 2     | 3     |
|                                    | Хімічний склад |       |       |            | Формульні коефіцієнти розраховано на 4 O |       |       |
| SiO <sub>2</sub>                   | 33,06          | 32,64 | 27,39 | Si         | 1,004                                    | 1,004 | 0,904 |
| TiO <sub>2</sub>                   | 0,02           | 0,02  | 0,21  | Al         | —  | —     | 0,041 |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>     | <0,01          | <0,01 | 1,05  | Ti         | —  | —     | 0,005 |
| FeO                                | 0,16           | 0,16  | 2,81  | Fe         | 0,004                                    | 0,004 | 0,078 |
| MnO                                | <0,01          | <0,01 | 0,43  | Mn         | —  | —     | 0,012 |
| CaO                                | 0,01           | 0,01  | 1,77  | Ca         | —  | —     | 0,063 |
| F                                  | 0,035          | 0,035 | 0,313 | F          | 0,003                                    | 0,003 | 0,033 |
| UO <sub>2</sub>                    | <0,01          | <0,01 | 0,58  | U          | —  | —     | 0,004 |
| ThO <sub>2</sub>                   | <0,01          | <0,01 | 0,65  | Th         | —  | —     | 0,005 |
| PbO                                | <0,01          | <0,01 | 0,25  | Pb         | —  | —     | 0,002 |
| ZrO <sub>2</sub>                   | 65,42          | 64,59 | 48,93 | Zr         | 0,969                                    | 0,969 | 0,787 |
| HfO <sub>2</sub>                   | 1,73           | 1,71  | 2,81  | Hf         | 0,017                                    | 0,018 | 0,031 |
| Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>      | 0,14           | 0,15  | 7,77  | Y          | 0,002                                    | 0,002 | 0,136 |
| Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>     | 0,06           | 0,06  | 1,38  | Ce         | 0,001                                    | 0,001 | 0,017 |
| Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>     | 0,10           | 0,09  | 0,80  | Gd         | 0,001                                    | 0,001 | 0,009 |
| Tb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>     | 0,15           | 0,15  | 0,28  | Tb         | 0,001                                    | 0,002 | 0,003 |
| Yb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>     | 0,07           | 0,07  | 1,82  | Yb         | 0,001                                    | 0,001 | 0,018 |
| Lu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>     | 0,04           | 0,04  | 0,26  | Lu         | —  | —     | 0,003 |
| Σ                                  | 100,99         | 99,72 | 99,50 | Σ катіонів | 2,010                                    | 2,010 | 2,150 |
| ZrO <sub>2</sub> /HfO <sub>2</sub> | 37,82          | 37,77 | 17,41 | Σ HREE     | 0,004                                    | 0,004 | 0,049 |

поведінка є важливою індикаторною ознакою, що вказує на джерело розплаву та впливає на його металогенічну спеціалізацію [8]. Русько-полянські граніти належать до низькофосфористих гранітів, але вміщують декілька мінералів групи фосфатів. Флуоро-апатит епізодично спостерігається в гранітах в асоціації з біотитом, ільменітом (рис. 2, *g, m*) і має неоднорідну внутрішню будову (рис. 2, *g*). Згадана вище неоднорідність зумовлена наявністю в мінералі збагачених на Y (до 5 %) ділянок (табл. 2, ан. 2).

За даними мікрозондового аналізу, для флуоро-апатиту характерно 3–4 мас. % F (табл. 2). Відзначається пересичення F у позиції X. Фіксується переважання кількості Y над сумою REE. Кількість Y сягає 4,57 мас. % (табл. 2, ан. 2). Схоже, що мінерал збагачувався рідкісноземельними елементами в результаті часткового перегрупування їх на пізній стадії метасоматичних перетворень.

Ксенотим-(Y) —  $(Y_{0,75}, REE_{0,23})PO_4$  — типовий акцесорний мінерал ранніх асоціацій русько-полянських гранітів (рис. 2, *c, d, i*), за поширенням поступається лише циркону. Утворює добре ограничені кристалічні агрегати короткопризматичного габітусу розміром 0,02–0,2 мм у перетині. Часто спостерігаються сумісні агрегати зростання ксенотиму-(Y) та циркону, що зумовлено ізоструктурністю цих мінералів та часовою близькістю їх кристалізації (рис. 2, *c*).

Хімічний склад ксенотиму-(Y) стабільний і практично завжди наближається до стехіометричних значень (табл. 3). Для мінералу характерний високий вміст  $\Sigma REE$  (20,51–25,92 мас. %), різке переважання важких лантаноїдів над легкими:  $(Y + HREE) / (Y + HREE + LREE) = 0,94–0,99$  ф. о. Уміст інших домішок <0,1 мас. %. Відмічається незначний вміст F — 0,2 мас. %.

Монацит-(Ce)  $CePO_4$  порівняно з ксенотимом-(Y), фіксується рідко у вигляді зерен (розміром 0,06–0,2 мм), що тяжіють до виділень біотиту (рис. 2, *e*). Мінерал було ідентифіковано за допомогою EDS.

Мінерали, що вміщують Nb і Ta. Підвищений вміст Nb у гранітах пов'язаний із присутністю в породі власних мінералів Nb (колумбіту-(Fe), евксеніту-(Y), ільменорутилу), а також із розсіянням Nb в біотиті й цирконі, про що свідчать низькі значення співвідношень Ti/Nb та Zr/Nb у цих гранітах. За попередніми даними, вміст евксеніту-(Y) в рідкіснометалевих гранітах досягає 898 г/т, колумбіту-(Fe) — 177 г/т, а максимальний вміст сумарно Nb і Ta спостерігається в дрібнозернистих гранітах, що розвинуті в апікальній частині масиву [6]. Окрім того, Nb фіксується в складі ільменорутилу та ільменіту (табл. 4).

Колумбіт-(Fe)  $(FeNb_2O_6)$  — рідкісний акцесорний мінерал, діагностований за допомогою рентгенофазового та мікрозондового аналізів

Таблиця 2. Хімічний склад і формульні коефіцієнти флуоро-апатитів, мас. %

Table 2. Chemical composition and formula coefficients of fluorapatites, wt. %

| Компонент                      | Номер аналізу |        |        |        | Компонент  | Номер аналізу |       |       |       |
|--------------------------------|---------------|--------|--------|--------|--|---------------|-------|-------|-------|
|                                | 1             | 2      | 3      | 4      |  | 1             | 2     | 3     | 4     |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 40,81         | 35,9   | 39,93  | 41,09  | <i>Формульні коефіцієнти розраховано на 13 O</i> |               |       |       |       |
| SiO <sub>2</sub>               | 0,48          | 3,25   | 0,64   | 0,18   | P <sup>5+</sup>                                  | 2,958         | 2,713 | 2,940 | 2,943 |
| Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | 0,83          | 4,57   | 0,55   | 0,35   | Si <sup>4+</sup>                                 | 0,041         | 0,290 | 0,056 | 0,015 |
| La <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,03          | 0,01   | 0,03   | <0,01  | $\Sigma T$                                       | 2,999         | 3,003 | 2,996 | 2,958 |
| Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | <0,01         | 0,17   | 0,35   | 0,01   | Y <sup>3+</sup>                                  | 0,038         | 0,217 | 0,025 | 0,016 |
| Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,05          | 0,07   | <0,01  | 0,04   | La <sup>3+</sup>                                 | 0,001         | —     | 0,001 | —     |
| Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,05          | 0,41   | 0,08   | 0,34   | Ce <sup>3+</sup>                                 | —             | 0,006 | 0,011 | —     |
| Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,09          | 0,27   | 0,03   | 0,10   | Pr <sup>3+</sup>                                 | 0,002         | 0,002 | —     | 0,001 |
| CaO                            | 53,67         | 49,28  | 52,92  | 54,48  | Nd <sup>3+</sup>                                 | 0,002         | 0,013 | 0,002 | 0,010 |
| SrO                            | 0,37          | 0,42   | 0,33   | 0,30   | Sm <sup>3+</sup>                                 | 0,003         | 0,008 | 0,001 | 0,003 |
| PbO                            | 0,07          | 0,08   | <0,01  | 0,02   | Ca <sup>2+</sup>                                 | 4,922         | 4,713 | 4,931 | 4,938 |
| MnO                            | 0,15          | 0,03   | 0,02   | 0,08   | Sr <sup>2+</sup>                                 | 0,018         | 0,022 | 0,017 | 0,015 |
| FeO                            | 0,03          | 0,19   | 0,13   | 0,15   | Pb <sup>2+</sup>                                 | 0,002         | 0,002 | —     | —     |
| F                              | 4,11          | 4,30   | 5,25   | 5,44   | Mn <sup>2+</sup>                                 | 0,011         | 0,002 | 0,001 | 0,006 |
| O=F                            | –1,731        | –1,811 | –2,211 | –2,291 | Fe <sup>2+</sup>                                 | 0,002         | 0,014 | 0,009 | 0,011 |
| O=Cl                           | <0,01         | <0,01  | <0,01  | <0,01  | $\Sigma M$                                       | 5             | 5     | 5     | 5     |
| $\Sigma$                       | 99,01         | 97,14  | 98,05  | 100,29 | F <sup>–</sup>                                   | 1,113         | 1,214 | 1,444 | 1,455 |

(EDS). Він наявний у вигляді поодиноких ідіоморфних дрібних (<0,04 мм у перетині) пластинчатих і таблитчастих кристалів та входить до складу зростків із іншими акцесорними мінералами (ксенотимом-(Y), флюоритом).

Ільменорутит утворює окремі субідіоморфні зерна в складі полімінеральних акцесорних асоціацій. Найчастіше це зростки з ксенотимом-(Y) та цирконом, що може свідчити про парагенетичний зв'язок між ними. Максимальний розмір виокремлень становить 0,02—

0,1 мм. За даними мікрозондового аналізу, мінерал майже не містить Та (табл. 4).

Рутит ( $\text{Ti}_{0,83}\text{Nb}_{0,09}\text{Ca}_{0,04}\text{Fe}_{0,02}$ ) $_{0,99}\text{O}_2$  збагачений на Nb (12,6—16,3 мас. %). Відмічається дуже низька концентрація Та ( $\text{Nb}/(\text{Nb} + \text{Ta}) = 99,9$  ат. %). Серед інших домішок присутні Fe і Ca (табл. 4).

Оксиди Fe та Ti. Ільменіт ( $\text{Fe}_{0,56}\text{Mn}_{0,29}\text{Zn}_{0,03} \times \text{Nb}_{0,02}\text{Ti}_{1,03}$ ) $_{1,92}\text{O}_4$  представлений поодинокими призматично-продовгуватими агрегатами, які розвиваються навколо гнізд біотиту

Таблиця 3. Хімічний склад і формульні коефіцієнти ксенотиму-(Y), мас. %

Table 3. Chemical composition and formula coefficients of xenotime-(Y), wt. %

| Компо-<br>нент                 | Номер аналізу  |        |        |        |        | Компо-<br>нент   | Номер аналізу                            |       |       |       |        |
|--------------------------------|----------------|--------|--------|--------|--------|------------------|--|-------|-------|-------|--------|
|                                | 1              | 2      | 3      | 4      | 5      |                  | 1  | 2     | 3     | 4     | 5      |
|                                | Хімічний склад |        |        |        |        |                  | Формульні коефіцієнти розраховано на 4 O |       |       |       |        |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 36,17          | 35,55  | 35,06  | 34,7   | 34,64  | P <sup>5+</sup>  | 1,001                                    | 0,993 | 0,933 | 0,987 | 0,977  |
| SiO <sub>2</sub>               | 0,07           | 0,19   | 0,10   | 0,05   | 0,17   | Si <sup>4+</sup> | 0,002                                    | 0,006 | 0,003 | 0,002 | 0,006  |
| ThO <sub>2</sub>               | 0,10           | 0,16   | 0,10   | 0,08   | 0,09   | Σ B              | 1,003                                    | 0,999 | 0,936 | 0,989 | 0,983  |
| UO <sub>2</sub>                | 0,19           | 0,12   | 0,11   | 0,02   | <0,01  | Th <sup>4+</sup> | 0,001                                    | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001  |
| HfO <sub>2</sub>               | 0,17           | 0,15   | 0,32   | 0,33   | 0,30   | U <sup>4+</sup>  | 0,001                                    | 0,001 | 0,001 | —     | —      |
| Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | 45,12          | 41,32  | 46,55  | 40,52  | 40,98  | Hf <sup>4+</sup> | 0,002                                    | 0,001 | 0,003 | 0,003 | 0,003  |
| La <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | <0,01          | 0,01   | <0,01  | <0,01  | <0,01  | Y <sup>3+</sup>  | 0,785                                    | 0,725 | 0,779 | 0,725 | 0,727  |
| Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | <0,01          | 0,03   | 0,01   | <0,01  | 0,02   | La <sup>3+</sup> | —  | —     | —     | —     | —      |
| Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | <0,01          | 0,02   | 0,03   | 0,01   | 0,01   | Ce <sup>3+</sup> | —  | —     | —     | —     | —      |
| Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | <0,01          | 0,06   | <0,01  | 0,04   | <0,01  | Pr <sup>3+</sup> | —  | —     | —     | —     | —      |
| Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,15           | 0,17   | 0,02   | 0,21   | 0,02   | Nd <sup>3+</sup> | —  | 0,001 | —     | 0,001 | —      |
| Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | <0,01          | 0,06   | 0,05   | <0,01  | <0,01  | Sm <sup>3+</sup> | 0,002                                    | 0,002 | —     | 0,002 | —      |
| Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,79           | 1,18   | 0,75   | 1,09   | 1,03   | Eu <sup>3+</sup> | —  | 0,001 | 0,001 | —     | —      |
| Tb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 2,33           | 3,11   | 2,10   | 2,87   | 2,95   | Gd <sup>3+</sup> | 0,009                                    | 0,013 | 0,008 | 0,012 | 0,011  |
| Dy <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 5,69           | 7,56   | 5,62   | 7,47   | 7,72   | Tb <sup>3+</sup> | 0,025                                    | 0,034 | 0,022 | 0,032 | 0,032  |
| Ho <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,97           | 1,19   | 1,30   | 1,14   | 1,31   | Dy <sup>3+</sup> | 0,060                                    | 0,080 | 0,057 | 0,081 | 0,083  |
| Er <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 4,12           | 4,49   | 4,25   | 4,60   | 4,48   | Ho <sup>3+</sup> | 0,010                                    | 0,012 | 0,013 | 0,012 | 0,014  |
| Tm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,60           | 0,77   | 0,65   | 0,80   | 0,82   | Er <sup>3+</sup> | 0,042                                    | 0,047 | 0,042 | 0,049 | 0,047  |
| Yb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 4,14           | 5,17   | 5,27   | 5,10   | 5,19   | Tm <sup>3+</sup> | 0,006                                    | 0,008 | 0,006 | 0,008 | 0,009  |
| Lu <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 1,72           | 2,10   | 1,69   | 2,31   | 2,17   | Yb <sup>3+</sup> | 0,041                                    | 0,052 | 0,051 | 0,052 | 0,053  |
| CaO                            | <0,01          | 0,05   | <0,01  | 0,04   | 0,01   | Lu <sup>3+</sup> | 0,017                                    | 0,021 | 0,016 | 0,023 | 0,022  |
| SrO                            | <0,01          | 0,03   | 0,05   | 0,01   | 0,04   | Ca <sup>2+</sup> | —  | 0,002 | —     | 0,001 | —      |
| PbO                            | 0,07           | 0,04   | 0,08   | 0,05   | 0,03   | Sr <sup>2+</sup> | —  | 0,001 | 0,001 | —     | 0,001  |
| MnO                            | 0,04           | <0,01  | 0,11   | <0,01  | 0,02   | Pb <sup>2+</sup> | 0,001                                    | —     | 0,001 | 0,001 | 0,0003 |
| FeO                            | 0,01           | 0,01   | 0,02   | 0,01   | 0,02   | Mn <sup>2+</sup> | 0,001                                    | —     | 0,003 | —     | 0,001  |
| F                              | 0,12           | 0,12   | 0,35   | 0,36   | 0,40   | Fe <sup>2+</sup> | —  | —     | 0,001 | —     | 0,001  |
| O=F                            | −0,051         | −0,051 | −0,147 | −0,152 | −0,168 | Σ A              | 1,002                                    | 1,003 | 1,004 | 1,004 | 1,004  |
| Σ                              | 102,52         | 103,61 | 104,44 | 101,66 | 102,25 | *                | 0,987                                    | 0,937 | 0,958 | 0,944 | 0,956  |
| Σ REE                          | 20,51          | 25,92  | 21,74  | 25,64  | 25,72  | Σ REE            | 0,200                                    | 0,250 | 0,200 | 0,250 | 0,250  |
|                                |                |        |        |        |        | Xbrb             | —  | 0,013 | —     | 0,010 | 0,003  |
|                                |                |        |        |        |        | Xhut             | 0,003                                    | 0,001 | 0,002 | —     | 0,001  |

Примітка. \* —  $(Y + HREE)/(Y + HREE + LREE)$ . Мольні частки перераховано відповідно до [22];  $Xbrb = (2Ca)/D$ ;  $Xhut = (Th + U + Pb - Ca)/D$ ;  $D = [REE + 2Ca + (Th + U + Pb - Ca)]$ .

Note. \* —  $(Y + HREE)/(Y + HREE + LREE)$ . Mole fractions are calculated according to [22];  $Xbrb = (2Ca)/D$ ;  $Xhut = (Th + U + Pb - Ca)/D$ ;  $D = [REE + 2Ca + (Th + U + Pb - Ca)]$ .



(рис. 2, *m*). Мінерал у багатьох випадках кородований пізнішим титанітом та продуктами лейкоксенізації (рис. 2, *m*). На підставі мікророндового дослідження ільменіту визначено, що в багатьох випадках він представлений Zn- та Mn-умісними різновидами: екандрюситом ( $\text{ZnTiO}_3$  — 2,5—3,5 %) та пірофанітом ( $\text{Mn}_2\text{TiO}_3$  — 30,8—34,8 %) відповідно. Причому, за даними EDS, присутність екандрюситу в мінералі може складати 20 мол. %. У межах перших десятих відсотка фіксується наявність Nb та V. Уміст Nb може сягати 2,65 ваг. % (табл. 4, ан. 2). Наявність серед акцесорних мінералів руськополянських гранітів ільменіту є індикатором кисневого режиму під час формування порід, який може відповідати більш відновному (ільменітова серія гранітоїдів) середовищу [18]. Цей важливий індикатор визначає шлях еволюції розплаву і, відповідно, його металогенічну спеціалізацію.

Оксиди заліза ( $\text{FeO}$  —  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) поширені у зонах метасоматозу і безпосередньо у вмісних породних комплексах. Утворення гематиту відбувалось унаслідок широкого розвитку процесів окиснення на всіх етапах метасоматичного перетворення залізистих мінералів

(біотиту, амфіболу). Мінерал найчастіше приурочений до скупчень біотиту.

*Карбонати та берилосилікати рідкісноземельних елементів* ( $\text{Y}_{0,88}\text{REE}_{0,59}\text{Ca}_{0,41}\text{Fe}_{0,56}(\square\square)_2\text{SiO}_4\text{OH}_2$  гадолініт-(Y) (хінганіт-(Y)) (?) — надзвичайно рідкісний мінерал у руськополянських гранітах. Поодинокі пористі дрібнозернисті (0,06—0,10 мм) маси існують в асоціації з ксенотимом-(Y), ільменорутилом, цирконом та флуоро-апатитом (рис. 2, *g*). Для точної діагностики мінералу необхідні рентгеноструктурні дослідження.

Структурна формула мінералу розрахована на 10 атомів O за загальною формулою  $A_2MQ_2T_2O_8V_2$  (де  $A = \text{Ca}, \text{YREE}, \text{Pb}, \text{Mn}^{2+}$ ,  $M = \text{Fe}, \square$  (вакансія),  $\text{Mg}, \text{Mn}, \text{Al}$ ;  $Q = \text{B}, \text{Be}, \text{Li}$ ;  $T = \text{Si}, \text{P}, \text{As}, \text{V}, \text{Be}, \text{S}$ ;  $V = \text{O}, \text{OH}, \text{F}$ ). Відповідно до хімічного складу (табл. 5), є незначний дефіцит у позиції  $A$  (1,86), а також значна вакансія позиції  $M$  (0,44). Серед рідкісноземельних різко переважають проміжні лантаніди —  $\text{Tb}_2\text{O}_3$  (7,09 мас. %),  $\text{Dy}_2\text{O}_3$  (7,03 мас. %). Спостерігається переважання важких лантанідів над легкими  $L\text{REE}/H\text{REE} = 0,13$  (рис. 3). Співвідношення з головними та акцесорними мінералами свідчить про формування цього мінералу на ранній

Таблиця 4. Хімічний склад і формульні коефіцієнти ільменіту та рутилу, мас. %

Table 4. Chemical composition and formula coefficients of the ilmenite and rutile, wt. %

| Компо-<br>нент                 | Ільменіт      |       | Рутил |       | Компо-<br>нент        | Ільменіт      |       | Рутил |       |
|--------------------------------|---------------|-------|-------|-------|-----------------------|---------------|-------|-------|-------|
|                                | Номер аналізу |       |       |       |                       | Номер аналізу |       |       |       |
|                                | 1             | 2     | 3     | 4     |                       | 1             | 2     | 3     | 4     |
| SiO <sub>2</sub>               | <0,01         | <0,01 | 0,51  | 0,58  | Формульні коефіцієнти |               |       |       |       |
| TiO <sub>2</sub>               | 55,22         | 52,60 | 76,79 | 75,11 | Si                    | —             | —     | 0,007 | 0,009 |
| FeO                            | 25,38         | 26,92 | 2,13  | 1,89  | Ti                    | 1,052         | 1,017 | 0,825 | 0,839 |
| MnO                            | 14,15         | 12,29 | 0,33  | 0,30  | Fe                    | 0,538         | 0,579 | 0,025 | 0,023 |
| MgO                            | 0,06          | 0,07  | 0,10  | <0,01 | Mn                    | 0,304         | 0,268 | 0,004 | 0,004 |
| CaO                            | <0,01         | <0,01 | 1,49  | 3,24  | Zn                    | 0,030         | 0,023 | —     | —     |
| ZnO                            | 1,62          | 1,19  | <0,01 | 0,03  | Ca                    | —             | —     | 0,023 | 0,052 |
| V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0,27          | 0,27  | 0,44  | 0,46  | V                     | 0,005         | 0,005 | 0,004 | 0,005 |
| Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,02          | 0,04  | 0,22  | 0,09  | Nb                    | 0,003         | 0,031 | 0,105 | 0,084 |
| Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 0,29          | 2,65  | 16,26 | 12,56 | Σ катіонів            | 1,935         | 1,927 | 1,001 | 1,018 |
| SnO <sub>2</sub>               | 0,03          | 0,13  | 0,24  | 0,19  | Mn <sub>Mf</sub>      | 34,83         | 30,80 | 13,56 | 13,68 |
| Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 0,03          | 0,03  | 0,03  | 0,03  | Fe <sub>Mf</sub>      | 61,69         | 66,60 | 86,44 | 85,12 |
| WO <sub>3</sub>                | 0,04          | 0,05  | <0,01 | <0,01 | Zn <sub>Mf</sub>      | 3,48          | 2,60  | —     | 1,19  |
| Σ                              | 97,11         | 96,24 | 98,54 | 94,48 | Nb <sub>Ta</sub>      | 94,14         | 99,32 | 99,89 | 99,86 |

Примітка. Ільменіт розраховано на 3 атоми O, рутил — на 2 атоми O.  $\text{Mn}, \text{Fe}, \text{Zn}_{Mf} = \text{Mn}, \text{Fe}, \text{Zn}/(Mf) \cdot 100$  ат.  $Mf = \text{Mn} + \text{Fe} + \text{Zn}$ ;  $\text{Nb}/(\text{Nb} + \text{Ta}) \cdot 100$  ат.

Note. Ilmenite is calculated on 3 atoms of O, and rutile is calculated on 2 atoms of O.  $\text{Mn}, \text{Fe}, \text{Zn}_{Mf} = \text{Mn}, \text{Fe}, \text{Zn}/(Mf) \cdot 100$  at.,  $Mf = \text{Mn} + \text{Fe} + \text{Zn}$ ;  $\text{Nb}/(\text{Nb} + \text{Ta}) \cdot 100$  at.



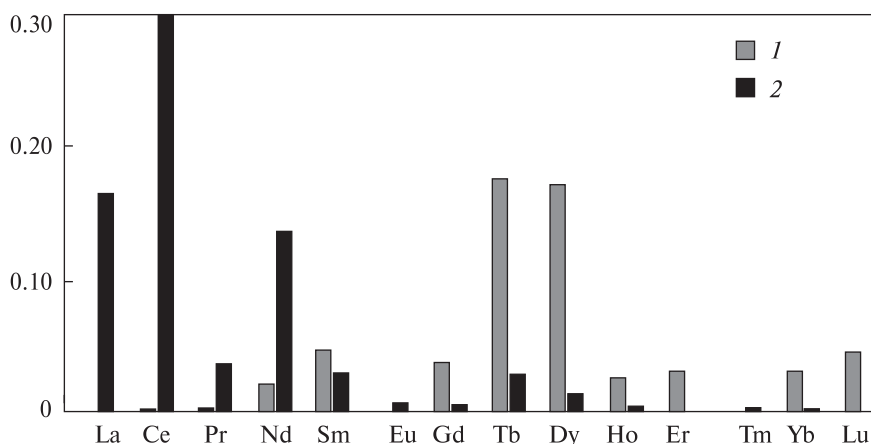


Рис. 3. Розподіл середнього значення вмісту рідкісноземельних елементів у гадолініті-(Y) (1) та синхізиті-(Ce) (2), за результатами мікрозондового аналізу. Уміст елементів відображено у стехіометричних коефіцієнтах (табл. 5)

Fig. 3. Distribution of the average contents of rare earth elements in gadolinite-(Y) (1) and synchisite-(Ce) (2) by the results of microprobe investigations. The contents of the elements are represented in stoichiometric coefficients (Table 5)

Таблиця 5. Хімічний склад (мас. %) і формульні коефіцієнти (ф. к.) мінералів гадолініту-(Y) та синхізиту-(Ce)

Table 5. The chemical composition (wt. %) and formula coefficients (f. k.) of gadolinite-(Y) and synchisite-(Ce)

| Гадолініт-(Y), ан. 13          |        |                  |       | Синхізит-(Ce), ан. 12          |        |                  |       |
|--------------------------------|--------|------------------|-------|--------------------------------|--------|------------------|-------|
| Компонент                      | Мас. % | Ф. к.            |       | Компонент                      | Мас. % | Ф. к.            |       |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0,06   | P <sup>5+</sup>  | 0,004 | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0,03   | P <sup>5+</sup>  | 0,002 |
| SiO <sub>2</sub>               | 26,08  | Si <sup>4+</sup> | 1,996 | SiO <sub>2</sub>               | 0,16   | Si <sup>4+</sup> | 0,008 |
| ThO <sub>2</sub>               | 0,10   | Th <sup>4+</sup> | 0,002 | ThO <sub>2</sub>               | 1,01   | Th <sup>4+</sup> | 0,012 |
| UO <sub>2</sub>                | 0,04   | U <sup>4+</sup>  | 0,001 | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,15   | Al <sup>3+</sup> | 0,008 |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,10   | Al <sup>3+</sup> | 0,009 | Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | 6,10   | Y <sup>3+</sup>  | 0,160 |
| Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | 21,62  | Y <sup>3+</sup>  | 0,881 | La <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 9,02   | La <sup>3+</sup> | 0,164 |
| La <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | <0,01  | La <sup>3+</sup> | —     | Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 16,72  | Ce <sup>3+</sup> | 0,302 |
| Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,08   | Ce <sup>3+</sup> | 0,002 | Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 1,97   | Pr <sup>3+</sup> | 0,036 |
| Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,04   | Pr <sup>3+</sup> | 0,001 | Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 7,71   | Nd <sup>3+</sup> | 0,136 |
| Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,76   | Nd <sup>3+</sup> | 0,021 | Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 1,77   | Sm <sup>3+</sup> | 0,030 |
| Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 1,71   | Sm <sup>3+</sup> | 0,045 | Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,34   | Eu <sup>3+</sup> | 0,006 |
| Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | <0,01  | Eu <sup>3+</sup> | —     | Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,41   | Gd <sup>3+</sup> | 0,006 |
| Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 1,55   | Gd <sup>3+</sup> | 0,039 | Tb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 1,90   | Tb <sup>3+</sup> | 0,030 |
| Tb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 7,09   | Tb <sup>3+</sup> | 0,178 | Dy <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,82   | Dy <sup>3+</sup> | 0,014 |
| Dy <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 7,03   | Dy <sup>3+</sup> | 0,173 | Ho <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,20   | Ho <sup>3+</sup> | 0,004 |
| Ho <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 1,05   | Ho <sup>3+</sup> | 0,026 | Tm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,02   | Tm <sup>3+</sup> | 0,002 |
| Er <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 1,37   | Er <sup>3+</sup> | 0,033 | Yb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,10   | Yb <sup>3+</sup> | 0,002 |
| Tm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | <0,01  | Tm <sup>3+</sup> | —     | Lu <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,09   |                  |       |
| Yb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 1,29   | Yb <sup>3+</sup> | 0,030 | CaO                            | 17,30  | Ca <sup>2+</sup> | 0,916 |
| Lu <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 1,97   | Lu <sup>3+</sup> | 0,046 | PbO                            | 0,04   | Pb <sup>2+</sup> | —     |
| CaO                            | 4,99   | Ca <sup>2+</sup> | 0,409 | FeO                            | 3,91   | Fe <sup>2+</sup> | 0,162 |
| PbO                            | 0,16   | Pb <sup>2+</sup> | 0,003 | CO <sub>2</sub> *              | 29,63  | CO <sub>3</sub>  | 2,000 |
| FeO <sub>total</sub>           | 8,71   | Fe <sup>2+</sup> | 0,558 | H <sub>2</sub> O*              | —      | OH               | 0,304 |
| BeO*                           | 10,88  | Be <sup>2+</sup> | 2,000 | F                              | 4,45   | F <sup>-</sup>   | 0,696 |
| H <sub>2</sub> O*              | 3,92   | OH               | 2,000 | O=F                            | 1,87   | Σ REE            | 0,732 |
| Σ                              | 100,59 | Σ REE            | 0,590 | Σ                              | 101,98 |                  |       |

Примітка. \* Розраховано за стехіометрією.

Note. \* Calculated on according to stoichiometry.

стадії магматичної кристалізації, що підтверджено емпіричними і експериментальними даними [20, 21].

Синхізит-(Ce)  $(\text{Ca}_{0,92}\text{REE}_{0,89}\text{Fe}_{0,16})_{1,97}(\text{CO}_3)_2 \times (\text{F}_{0,7}\text{OH}_{0,3})_{1,0}$  найбільше поширений акцесорний мінерал, що містить REE. Карбонат виповнює міжзернові пустоти, часто заміщує більш ранній ксенотим-(Y) (рис. 2, і). Масове відкладення карбонату відбулось після формування ранніх асоціацій за участю циркон-ксенотимового парагенезу. Переважні форми — снопоподібні скупчення тонкопластинчастих агрегатів.

Хімічний склад мінералу стійкий і добре перераховується на кристалохімічну формулу. Часто спостерігаються явища заміщення пластинчастих агрегатів мінералу гідросинхізитом (?), що призводить до формування неоднорідних агрегатів, які чітко фіксуються за допомогою сканувального мікроскопа у режимі (BSE — back-scattered electrons) у відбитих електронах (рис. 2, l). За результатами мікрозондового аналізу (табл. 5), у мінералі кількість LREE переважає над HREE ( $LREE/HREE = 11,6$ ), серед LREE найбільше Ce (рис. 3). Значний вміст мають також FeO — 3,91 мас. %, та Th —

1,01 мас. %. Концентрація інших домішок є низькою. Оцінка невеликого вмісту OH-групи фіксується за дефіцитом F.

Підвищений вміст синхізиту-(Ce), а також ксенотиму-(Y) в руськополянських гранітах зумовлений значною рухливістю і стійкістю комплексних сполук важких лантанодів зі F.

Бастнезит-(Y)  $(\text{Y}, \text{Ce}, \text{La})\text{CO}_3\text{F}$  належить до групи мінеральних видів, які візуально важко розпізнавати, і діагностований за переважним рідкісноземельним елементом у хімічному складі виходячи тільки з EDS. За свідченнями дослідників, у більшості випадків мінерал розвивається за рахунок аланіту серед біотиту (рис. 2, l), подеколи вміст мінералу досягає 9 кг/т [6].

Паризит-(Ce)  $\text{YCeCa}[\text{CO}_3]\text{F}_2$  (?) — існування мінералу остаточно не підтверджено. Наявні результати EDS відповідають окремим фазам, що представлені продуктами заміщення ксенотиму-(Y). Мінерал потребує додаткових досліджень.

**Фториди.** Флюорит  $\text{CaF}_2$ , єдиний представник фторидів, є поширеним мінералом у гранітах і має тісний зв'язок з рідкіснометалевою мінералізацією. В деяких штуфах кількість мінералу може перевищувати 1 % від загальної кількості мінералів породи. Флюорит прозорий до блідо-блакитного і розвивається у вигляді ланцюжків окремих зерен розміром 0,3—2,0 мм у перетині на границі кварцу та дрібнозернистої основної польовошпатової маси. Мінерал спостерігається також разом із кварцом, та як округлі, ксеноморфні, а іноді таблитчасті агрегати у мікрокліні.

Спостерігається стійка тенденція до росту вмісту флюориту від незмінених гранітів до метасоматично змінених. За даними мікрозондового аналізу, в складі мінералу присутні домішки Y та Sr на рівні перших десятих часток відсотка (табл. 6).

**Обговорення.** Руськополянські граніти мають типові геохімічні риси внутрішньоплитних анорогенних гранітів А-типу [3]. Згідно з чинною класифікацією — це кислі плутонічні породи сублужного ряду. Вкрай висока залізистість мафічних мінералів обумовлює високу загальну залізистість гранітоїдів [3]. Для руськополянських гранітів характерний підвищений вміст F, Rb, Ga, Zr, Hf, Th, U, Zn, TR, але низький CaO, MgO,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ , Sr. Концентрація рідкісноземельних елементів у сотні разів перевищує хондритові зі звичайним зба-

Таблиця 6. Результати мікрозондового аналізу флюориту, мас. %

Table 6. Results of electron microprobe analysis of fluorite, wt. %

| Компонент                      | Номер аналізу |        |
|--------------------------------|---------------|--------|
|                                | 5             | 6      |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0,04          | 0,02   |
| SiO <sub>2</sub>               | 0,02          | <0,01  |
| Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | 0,15          | 0,02   |
| La <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,01          | 0,03   |
| Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | <0,01         | 0,02   |
| Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,02          | 0,05   |
| CaO                            | 71,39         | 71,22  |
| SrO                            | 0,33          | 0,34   |
| PbO                            | 0,10          | 0,10   |
| MnO                            | 0,03          | 0,05   |
| FeO <sub>tot</sub>             | 0,04          | 0,12   |
| F                              | 47,85         | 50,32  |
| O=F                            | -20,15        | -21,19 |
| Σ                              | 99,83         | 101,10 |
| Формульні коефіцієнти          |               |        |
| Ca <sup>2+</sup>               | 0,995         | 0,994  |
| Sr <sup>2+</sup>               | 0,002         | 0,003  |
| Σ T                            | 1,000         | 1,000  |
| F <sup>-</sup>                 | 1,970         | 2,070  |
| Σ X                            | 1,000         | 1,000  |

гаченням легкими лантаноїдами відносно важких і негативною європейською аномалією.

Високий уміст рідкісноземельних елементів (Zr, Nb, Y, REE) у руськополянських гранітах пов'язаний, перш за все, з концентрацією цих елементів у власних акцесорних мінералах — цирконі, колумбіті-(Fe), ксенотимі-(Y), монациті-(Ce), синхізиті-(Ce) та інших. Окрім того, акцесорні мінерали кальцію руськополянських гранітів збагачуються REE унаслідок близькості іонних радіусів Ca та REE [9].

Серед породотвірних мінералів руськополянських гранітів головним концентратором рідкісноземельних елементів може бути біотит. Так, у більшості досліджуваних зерен біотиту концентрація Ta вища за Nb, але в самих руськополянських гранітах вміст Nb вищий за Ta ( $Nb/Ta = 13$ ) [5]. Особливістю біотитів є підвищений у них уміст Cl порівняно з F, попри те, що одним із головних акцесорних мінералів руськополянських гранітів є флюорит (1–2 %) [5]. Невисока концентрація F в біотитах руськополянських гранітів може свідчити про низький рівень його вмісту в розплаві у період кристалізації біотиту. Окрім того, виділення флюориту у вигляді прожилків, гнізд, заповнення ним мікротріщин у руськополянських гранітах може вказувати на його більш пізню метасоматичну природу.

На відміну від кам'яномогильських і пержанських гранітів, у руськополянських відзначено наявність реліктових ядер у деяких цирконах. Подібна складна внутрішня будова притаманна цирконам гранітоїдів Корсунь-Новомиргородського плутону, що вказує на можливу присутність реліктів корового субстрату в формуванні первинних розплавів цього плутону [14]. Про корове джерело первинних магматичних розплавів гранітоїдів плутону свідчать і результати самарій-неодимових та рубідій-стронцієвих досліджень проведених згаданим вище автором [14]. Ці факти та високий вміст Ba, як у руськополянських, так і гранітах Корсунь-Новомиргородського плутону, свідчать про генетичну близькість між гранітами [15].

Відомо, що гранітоїди коростенського комплексу формувалися у результаті декількох фаз. Становлення гранітоїдів головної фази вкорінення Малинського масиву рапаківі, згідно з [2], мало місце  $1767 \pm 5$  млн рр., а пізніше ( $1752 \pm 16$  млн рр.) формувалися сублужні біотитові лейкограніти Лізниківської інтрузії. Ймовірно, подібна синхронність процесів спо-

стерігається в Корсунь-Новомиргородському плутоні, відповідно, між гранітами рапаківі і руськополянськими лейкогранітами, вік останніх складає  $1758 \pm 3$  млн рр. [10].

Існують дві протилежні точки зору щодо можливого формування рідкіснометалевої мінералізації, а саме походження Ta-Nb оксидів. Це безпосередня кристалізація рудних мінералів Nb та Ta з розплаву та їх формування за рахунок вторинних змін і суттєвої ролі процесів гідротермально-метасоматичних перетворень. Такі характерні ознаки як низькі значення розчинності оксидів Nb і Ta у водних флюїдах, мінералого-структурні явища тісного проростання первинномагматичних мінералів (циркону та апатиту) з тантало-ніобатами та виняткова роль летких компонентів (B, P, F), які збільшують ступінь розчинності тантало-ніобатів, — схиляють переважну більшість дослідників до визнання ідеї магматогенного походження більшості Ta-Nb різновидів [16].

Постмагматичні процеси не відіграють ключову роль у формуванні проявів Ta та Nb мінералізації, але припускається, що вони можуть бути важливими факторами контролю просторового розташування й перерозподілу рудної мінералізації — під час можливих процесів "метасоматичного" привнесення двовалентних катіонів Fe, Mn, і Ca, які є складовими компонентами рудних мінералів групи колумбіт-танталіту, водгіниту та мікроліту [23].

Вважається, що рідкіснометалеві граніти Руськополянського масиву мають метасоматичне походження [15]. Дискусійність питання генезису полягає в тому, що складно відрізнити магматичні породи від метасоматичних і особливо автометасоматичних. Аргументи більшості прихильників метасоматичної та магматичної гіпотез походження рідкіснометалевих гранітів часто базуються на одних і тих же фактах — своєрідні структури рідкіснометалевих гранітоїдів, неоднорідність текстур, наявність альбіту, суттєві варіації мінерального та хімічного складу порід, збагачення рідкісноземельними елементами тощо [7]. Всі ці особливості присутні в руськополянських гранітах. Але, за будь-якої інтерпретації генезису рідкіснометалевих гранітів, дослідники відмічають значну роль F та інших летких компонентів у ході їх формування [11, 17, 19].

Спільними рисами рідкіснометалевих гранітів, подібних до руськополянських, є збагаченість леткими компонентами (F, Cl, H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>)

і в ореолах метасоматичної дії, що спричиняє значну рухомість багатьох рідкісних та розсіяних елементів — Zr, Ti, P, Y, Hf, REE, Y, Be, Nb, особливо на постмагматичних стадіях. Необхідно відмітити, що REE та Y характеризуються чітко вираженою спорідненістю до F, що проявляється у появі простих і складних F-умісних комплексних сполук, а також F-умісних карбонатів [9].

Наявність летких компонентів обумовила двостадійне формування рідкіснометалевої мінералізації руськополянських гранітів. До першої (ранньої) стадії належать циркон, флуороапатит, ксенотим-(Y), монацит-(Ce), Ta-Nb-оксиди, рутил, гадолінит-(Y). Мінерали цієї стадії характеризуються відносно рівномірним поширенням у гранітах. Другий (пізній) стадії відповідає така асоціація — флюорит-синхізит-паризит-бастнезит, а також торит, ільменіт та оксиди заліза.

За більшістю геохімічних особливостей руськополянські граніти тотожні іншим докембрійським анорогенним рідкіснометалевим гранітам Українського щита [3, 13, 15], а за рівнем концентрації REE вони наближаються до гранітів кам'яногильського комплексу [3, 13]. Окрім того, на діаграмах у роботі [5] точки хімічного складу слюд із руськополянських гранітів потрапляють в область сидерофіліту і мають подібне розташування до біотитів кам'яногильських гранітів. За вмістом  $\text{TiO}_2$  (1,65—3,08 ваг. %) та Cl (0,57—1,05 ваг. %), біотити з руськополянських гранітів є подібними

до слюд пержанських та частково до лізниківських гранітів.

**Висновки.** Геохімічна спеціалізація руськополянських гранітів позначилась на наборі акцесорних мінералів гранітів.

Склад акцесорних мінералів руськополянських гранітів є практично ідентичним складу рідкіснометалевих гранітів пізніх фаз, пов'язаних із плутонічною діяльністю коростенського комплексу.

Вивчення структурно-текстурних особливостей і просторово-часового відношення між акцесорними мінералами вказує на те, що формування мінералізації відбувалося у дві стадії.

До першої (ранньої) стадії належать — циркон, флуороапатит, ксенотим-(Y), монацит-(Ce), Ta-Nb-оксиди, рутил, гадолінит-(Y). Мінерали цієї стадії характеризуються відносно рівномірним поширенням у гранітах.

Другий (пізній) стадії відповідає така асоціація — флюорит, синхізит, паризит, бастнезит, а також торит, ільменіт та оксиди заліза. Ця асоціація характеризується нерівномірним поширенням і подеколи значною концентрацією на деяких ділянках, що може мати промисловий інтерес.

Дослідження акцесорних мінералів-концентраторів REE у руськополянських гранітах допоможуть не тільки вирішенню різноманітних генетичних питань, а й сприятимуть якісній оцінці рідкісноземельної рудної сировини під час проведення повноцінних геологорозвідувальних робіт.

## ЛІТЕРАТУРА

- Бондаренко С.М., Заяць О.В., Грінченко О.В., Флоре Б.А., Мікуш Т. Рудно-мінералогічні особливості руськополянських гранітів. Тез. докл. Междунар. науч. конф. "Гранитоиды: условия формирования и рудоносность" (27 мая — 1 июня, 2013 г.). Киев, 2013. С. 24—25.
- Верхогляд В.М. Возрастные этапы магматизма Коростенского плутона. *Геохимия и рудообразование*. 1995. № 21. С. 34—47.
- Заяць О.В. Геохімія русько-полянських рідкіснометалевих гранітоїдів Корсунь-Новомиргородського плутону: автореф. дис. ... канд. геол. наук. Київ, 2017. 20 с.
- Заяць О.В. Акцесорна мінералізація русько-полянських рідкіснометалевих гранітів Українського щита. *Мінерал. зб.* 2012. № 62, вип. 2. С. 182—188.
- Заяць О.В., Ларіков А.Л., Соболев В.Б., Кушнір С.В., Вишневський О.А., Сьомка Л.В. Біотити рідкіснометалевих гранітів Русько-Полянського масиву (Інгільський мегаблок УЩ). *Геохімія та рудоутворення*. 2016. № 37. С. 15—21.
- Заяць О.В., Ларіков А.Л., Сьомка Л.В., Кошелев О.В. Геохімічні особливості й типізація рідкіснометалевих русько-полянських гранітів корсунь-новомиргородського комплексу. *Мінеральні ресурси України*. 2012. № 4. С. 18—22.
- Коваленко В.И. Петрология и геохимия редкометалльных гранитоидов. Новосибирск: Наука, 1977. 206 с.
- Костицын Ю.А. Накопление редких элементов в гранитах. *Природа*. 2000. № 1. С. 21—30.
- Невский В.А., Гинзбург А.И., Козлова П.С., Онтеев Д.О., Апелцин Ф.Р., Куприянова И.И., Кудрин В.С., Эпштейн Е.М. Геология постмагматических ториево-редкометалльных месторождений. М.: Атомиздат, 1972. 408 с.



10. Пономаренко О.М., Заяць О.В., Безвинний В.П., Довбуш Т.І. Особливості речовинного складу та ізотопний вік русько-полянських рідкіснометалевих гранітів Українського щита. *Геохімія та рудоутворення*. 2011. № 30. С. 18–26.
11. Солодов Н.А., Балашов Л.С., Кременецкий А.А. Геохимия лития, рубидия и цезия. М.: Недра, 1980. 234 с.
12. Циба М.М., Санкіна Г.А., Думенко В.Г., Скобельська А.К., Мокієць М.В. Державна геологічна карта України. Центральноукраїнська серія. Аркуш М-36-XX (Корсунь-Шевченківський). 1: 200 000. Київ: Держ. служба геології та надр України, ДП "Українська геологічна компанія", 2012. 165 с.
13. Шеремет Е.М., Кривдик С.Г., Седова Е.В. Редкометалльные граниты Украинского щита (петрология, геохимия, геофизика и рудоносность) / Ред. А.Н. Пономаренко, А.В. Анциферов. Донецк: Ноулидж, 2014. 250 с.
14. Шестопалова Е.Е., Степанюк Л.М., Довбуш Т.І., Котвицкая И.Н. Уран-свинцовый возраст циркона гранитоидов Корсунь-Новомиргородского плутона (Ингульский мегаблок УЩ). *Мінерал. журн.* 2014. **36**, № 4. С. 95–106.
15. Щербakov И.Б. Петрология Украинского щита. Львов: ЗУКЦ, 2005. 366 с.
16. Bartels A., Holtz F., Linnen, R.L. Solubility of manganotantalite and manganocolumbite in pegmatitic melts. *Amer. Miner.* 2010. **95**. P. 537–544.
17. Dostal J., Chatterjee A.K. Origin of topaz-bearing and related peraluminous granites of the late devonian Davis Lake pluton, Nova Scotia, Canada: Crystal versus fluid fractionation. *Chem. Geol.* 1995. **123**. P. 67–88. doi: [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(95\)00047-P](https://doi.org/10.1016/0009-2541(95)00047-P)
18. Ishihara, S. The redox state of granitoids relative to tectonic setting and earth history: The magnetite-ilmenite series 30 years later. *Geol. Soc. Amer. Spec. Pap.* 2004. **389**. P. 23–33.
19. London D. Estimating abundances of volatile and other mobile components in evolved silicic melts through mineral-melt equilibria. *J. Petrol.* 1997. **38** (12). P. 1691–1706. doi: <https://doi.org/10.1093/ptro/38.12.1691>
20. London D. The application of experimental petrology to the genesis and crystallisation of granitic pegmatites. *Canad. Miner.* 1992. **30**. P. 499–540.
21. Pezzotta F., Diella V., Guastoni A. Chemical and paragenetic data on gadolinite-group minerals from Baveno and Cuasso al Monte, southern Alps, Italy. *Amer. Miner.* 1999. **84**. P. 782–789.
22. Pyle J.M., Spear F.S., Rudnick R.L., McDonough W.F. Monazite-xenotime-garnet equilibria in metapelites and a new monazite-garnet thermometer. *J. Petrol.* 2001. **42**. P. 2083–2107. doi: <https://doi.org/10.1093/ptrology/42.11.2083>
23. Van Lichtervelde, M., Salvi, S., Beziat, D., Linnen, R.L. Textural features and chemical evolution in tantalum oxides: Magmatic versus hydrothermal origins for Ta mineralization in the Tanco Lower Pegmatite, Manitoba, Canada. *Econom. Geol.* 2007. **102**. P. 257–276.

Надійшла 27.12.2018

## REFERENCES

1. Bondarenko, S.M., Zaiats, O.V., Hrinchenko, O.V., Flore, B.A. and Mikush, T. (2013), *Intern. Sci. conf. "Granitoids: formation conditions and ore bearing"*, MP Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation, Kiev, UA, pp. 24-25.
2. Verkhoglyad, V.M. (1995), *Geochemistry and Ore Formation*, No. 21, Kyiv, UA, pp. 34-47.
3. Zaiats, O.V. (2017), *Geochemistry of Ruska Polyana rare-metal granitoids of the Korsun-Novomyrhorod pluton*, Abstr. of Ph.D. dis., M.P. Semenenko IGMOF of NAS of Ukraine, Kyiv, UA, 20 p.
4. Zaiats, O.V. (2012), *Mineral. Review*, No. 62, Vyp. 2, Lviv, UA, pp. 182-188.
5. Zaiats, O.V., Larikov, A.L., Soboliev, V.B., Kushnir, S.V., Vyshnevskyi, O.A. and Syomka, L.V. (2016), *Geochemistry and Ore Formation*, No. 37, Kyiv, UA, pp. 15-21.
6. Zaiats, O.V. Larikov, A.L., Syomka, L.V. and Koshelev, O.V. (2012), *Mineral. Resources of Ukraine*, No 4, Kyiv, UA, pp. 18-22.
7. Kovalenko, V.I. (1977), *Petrology and geochemistry of rare-metal granites*, Nauka, Novosibirsk, RU, 206 p.
8. Kostitsyn, Yu.A. (2000), *Priroda*, No. 1, RU, pp. 21-30.
9. Nevskiy, V.A., Ginzburg, A.I., Kozlova, P.S., Ontoev, D.O., Apeltsin, F.R., Kupriyanova, I.I., Kudrin, V.S. and Epsh-teyn, E.M. (1972), *Geology of postmagmatic thorium-rare-metal deposits*, Atomizdat, Moscow, RU, 408 p.
10. Ponomarenko, O.M., Zaiats, O.V., Bezvynnyy, V.P. and Dovbush, T.I. (2011), *Geochemistry and Ore Formation*, No. 30, Kyiv, UA, pp. 18-26.
11. Solodov, N.A., Baloshov, L.S. and Kremenetskiy, A.A. (1980), *Geochemistry of lithium, rubidium and cesium*, Nedra, Moscow, RU, 234 p.
12. Tsyba, M.M., Sankina, H.A., Dumenko, V.H., Skobelska, A.K. and Mokiiets, M.V. (2012), *State geological map of Ukraine. Scale 1: 200 000. Central Ukrainian series. Sheet M-36-XX (Korsun-Shevchenkivsky)*, State Service of Geology and Subsoil of Ukraine, State Enterprise "Ukrainian Geological Company", Kyiv, UA, 165 p.
13. Sheremet, E.M., Kryvdik, S.G. and Sedova, E.V. (2014), *Rare-metal granites of Ukrainian Shield (petrology, geochemistry, geophysics and ore-bearing)*, in Ponomarenko, O.M. and Antsiferov, A.V. (eds), Noulidzh, Donetsk, UA, 250 p.
14. Shestopalova, E.E., Stepanyuk, L.M., Dovbush, T.I. and Kotvitskaya, I.N. (2014), *Mineral. Journ. (Ukraine)*, Vol. 36, No. 4, Kyiv, UA, pp. 95-106.
15. Shcherbakov, I.B. (2005), *Petrology of the Ukrainian Shield*, ZUKTC press, Lviv, UA, 366 p.

16. Bartels, A., Holtz, F. and Linnen, R.L. (2010), *Amer. Miner.*, Vol. 95, pp. 537-544.
17. Dostal, J. and Chatterjee, A.K. (1995), *Chem. Geol.*, Vol. 123, pp. 67-88. doi: [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(95\)00047-P](https://doi.org/10.1016/0009-2541(95)00047-P)
18. Ishihara, S. (2004), *Geol. Soc. Amer. Spec. Pap.*, Vol. 389, pp. 23-33.
19. London, D. (1997), *J. Petrol.*, Vol. 38 (12), pp. 1691-1706. doi: <https://doi.org/10.1093/etroj/38.12.1691>
20. London, D. (1992), *Canad. Miner.*, Vol. 30, pp. 499-540.
21. Pezzotta, F., Diella, V. and Guastoni, A. (1999), *Amer. Miner.*, Vol. 84, pp. 782-789.
22. Pyle, J.M., Spear, F.S., Rudnick, R.L. and McDonough, W.F. (2001), *J. Petrol.*, Vol. 42, pp. 2083-2107. doi: <https://doi.org/10.1093/etrology/42.11.2083>
23. Van Lichtenvelde, M., Salvi, S., Beziat, D. and Linnen, R.L. (2007), *Econom. Geol.*, Vol. 102, pp. 257-276.

Received 27.12.2018

А.Н. Пономаренко <sup>1</sup>, Т. Микуш <sup>2</sup>, С.И. Курило <sup>1</sup>, С.Н. Бондаренко <sup>1</sup>,  
О.В. Заяц <sup>1</sup>, А.В. Гринченко <sup>3</sup>, В.А. Сёмка <sup>1</sup>, С. Елень <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт геохимии, минералогии и рудообразования  
им. Н.П. Семененко НАН Украины  
03142, г. Киев, Украина, пр-т Акад. Палладина, 34  
E-mail: igmrponomarenko@gmail.com, Kurylo.Sergiy@gmail.com,  
Sbond.igmr@gmail.com, syomka1949@gmail.com

<sup>2</sup> Институт наук о Земле, Словацкая академия наук  
974 01, г. Банска Быстрица, Словакия, ул. Думбиерская, 1  
E-mail: mikus@savbb.sk, jelen@savbb.sk

<sup>3</sup> Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко  
Учебно-научный институт "Институт геологии"  
03022, г. Киев, Украина, ул. Васильковская, 90  
E-mail: alexgrin@univ.kiev.ua

#### НОВЫЕ ДАННЫЕ ОБ АКЦЕССОРНЫХ МИНЕРАЛАХ ИЗ РУССКОПОЛЯНСКИХ ГРАНИТОВ КОРСУНЬ-НОВОМИРГОРОДСКОГО ПЛУТОНА УКРАИНСКОГО ЩИТА

Заинтересованность русскополянскими субщелочными редкометалльными гранитами обусловлена широким спектром в них акцессорных минералов. Исследований по определению акцессорных минералов и их химического состава в этих гранитах проводилось мало. *Цель работы* — изучение акцессорной минерализации гранитов Русскополянского массива и выявление главных минералов-концентраторов редких элементов гранитов. Исследование образцов гранитов из глубокой скважины, пробуренной в юго-восточной редкометалльной части Русскополянского массива (с. Русская Поляна) выполнено с помощью сканирующего электронного микроскопа *JEOL JSM-6700F* с ЭДС *JED-2300* (ИГМР НАН Украины, г. Киев), на микроанализаторе *JEOL JXA-8200* (Технический центр НАН Украины, г. Киев) и на приборе *Microprobe JEOL JXA-8530F* (Институт наук о Земле Словацкой АН, г. Банска-Быстрица). По результатам исследований в русскополянских гранитах определены акцессорные минералы: циркон, торит, флуоро-апатит, ксенотим-(Y), монацит-(Ce), колумбит-(Fe), ильменорутит, рутил, ильменит, гадолинит-(Y), (хинганит-(Y) (?)), синхизит-(Ce), бастнезит-(Y), паризит-(Ce) (?), флюорит. Особенности химического состава большинства из них рассмотрены в данной статье. Состав акцессорных минералов русскополянских гранитов практически идентичен составу редкометалльных гранитов поздних, связанных с плутонической деятельностью фаз коростенского комплекса. Наличие летучих компонентов создало условия для переработки гранитов на постмагматических стадиях, что привело к двухстадийному формированию редкометалльной минерализации. Для ранней стадии характерна циркон-апатит-ксенотим-монацит-гадолинит-колумбит-ильменитовая ассоциация, для поздней — флюорит-синхизит-паризит-бастнезит-ильменорутитовая.

**Ключевые слова:** акцессорные минералы, редкие элементы, редкометалльные граниты, Русскополянский массив, Корсунь-Новомиргородский плутон, Украинский щит.

*O.M. Ponomarenko*<sup>1</sup>, *T. Mikuš*<sup>2</sup>, *S.I. Kurylo*<sup>1</sup>, *S.M. Bondarenko*<sup>1</sup>,  
*O.V. Zaiats*<sup>1</sup>, *O.V. Hrinchenko*<sup>3</sup>, *V.O. Syomka*<sup>1</sup>, *S. Jeleň*<sup>2</sup>

<sup>1</sup> M.P. Semenenko Institute of Geochemistry,  
Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine  
34, Acad. Palladin Ave., Kyiv, Ukraine, 03142  
E-mail: igmrponomarenko@gmail.com, Kurylo.Sergiy@gmail.com,  
Sbond.igmr@gmail.com, syomka1949@gmail.com

<sup>2</sup> The Earth Science Institute of the Slovak Academy of Sciences  
1, Ďumbierska Str., Banská Bystrica, Slovakia, 974 01  
E-mail: mikus@savbb.sk, jelen@savbb.sk

<sup>3</sup> Kyiv Taras Shevchenko National University  
Educational-scientific institute "Institute of Geology"  
90, Vasylkivska Str., Kyiv, Ukraine, 03022  
E-mail: alexgrin@univ.kiev.ua

# NEW DATA ON ACCESSORY MINERALS OF RUSKA POLYANA GRANITES OF KORSUN-NOVOMYRHOROD PLUTON OF UKRAINIAN SHIELD

Interest in the Ruska Polyana subalkaline rare-metal granite is due to a wide range of their accessory minerals. There are few studies of accessory minerals of these granites and their chemical composition and the paper is aimed at filling this gap and identifying the main concentrations of rare elements in the granites. Granites samples from deep wells, drilled in the south-eastern area of rare-metal mineralization of the Ruska Polyana massif (Ruska Polyana Village) are investigated by scanning electron microscope JEOL JSM-6700F with EDS JED-2300 (M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine, Kyiv) microanalyzer JEOL JXA-8200 (Technical Center of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv) and microprobe JEOL JXA-8530F (The Earth Science Institute of the Slovak Academy of Sciences, Banská Bystrica). The Ruska Polyana granites contain accessory minerals zircon, thorite, fluorapatite, xenotime-(Y), monazite-(Ce), columbite-(Fe), ilmenorutile, rutile, ilmenite, gadolinite-(Y), (hingganite-(Y)) (?), synchisite-(Ce), bastnaesite-(Y), parisite-(Ce) (?), fluorite. This paper discusses their chemical composition. The composition of the accessory minerals of the Ruska Polyana granites is generally similar to that of rare-metal granites of the late phases of the magmatic activity of the Korosten complex. The presence of fluids has caused post-magmatic granite alteration, which resulted in formation a two-stage rare-metal mineralization. Zircon-apatite-xenotime-monazite-gadolinite-columbite-ilmenite association is typical of the early stage, and the late stage is characterized by fluorite-synchisite-parisite-bastnaesite-ilmenorutile associations.

**Keywords:** accessory minerals, rare elements, rare-metal granites, Ruska Polyana massif, Korsun-Novomyrhorod pluton, the Ukrainian Shield.