УДК 550.4:553.493.6 (477.46)

<https://doi.org/10.31996/mru.2019.4.3-8>

О. М. ПОНОМАРЕНКО, д-р геол. наук, професор, старший науковий співробітник, директор (Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М. П. Семененка НАН України), igmrponomarenko@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5179-6091>,

О. В. ЗАЯЦЬ, канд. геол. наук, науковий співробітник (Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М. П. Семененка НАН України), olgarabbite@ukr.net, olgarabbite@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5011-029X>,

А. І. САМЧУК, д-р хім. наук, старший науковий співробітник (Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М. П. Семененка НАН України), igmrsmamchuk@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8992-9112>,

І. А. ШВАЙКА, канд. геол. наук, науковий співробітник (Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М. П. Семененка НАН України), ishvaika@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9585-4380>,

Л. І. ПРОСКУРКА, молодший науковий співробітник (Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М. П. Семененка НАН України), igmrproskurka@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5760-2000>

О. PONOMARENKO, Doctor of Geological Sciences, Professor, Senior Researcher, Director (M. P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine), igmrponomarenko@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5179-6091>,

О. ZAIATS, PhD in Geological Sciences, Research Fellow (M. P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine), olgarabbite@ukr.net, olgarabbite@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5011-029X>,

А. SAMCHUK, Doctor of Chemistry Sciences, Senior Researcher (M. P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine), igmrsmamchuk@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8992-9112>,

І. SHVAIKA, PhD in Geological Sciences, Research Fellow (M. P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine), ishvaika@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9585-4380>,

Л. PROSKURKA, Junior Researcher (M. P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine), igmrproskurka@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5760-2000>

РОЗПОДІЛ РІДКІСНОЗЕМЕЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ У РУСЬКО-ПОЛЯНСЬКИХ ГРАНІТАХ ТА АКЦЕСОРНИХ ФЛЮОРИТАХ

DISTRIBUTION OF RARE EARTH ELEMENTS IN RUSKA POLIANA GRANITES AND ACCESSORY FLUORITES

Русько-Полянський гранітний масив розміщений у північно-східній частині Корсунь-Новомиргородського плутону Українського щита (УЩ). У південно-східній частині масиву залягають граніти з рідкіснометалевою мінералізацією. Із цієї частини масиву аналізували граніти та флюорити чотирьох інтервалів глибин сверд. № 8568, пробуреної поблизу с. Руська Поляна.

За результатами аналізу ICP MS виявлено, що серед досліджених флюоритів найвищий вміст лантанодів (26933 г/т) та ітрію (11705 г/т) спостерігається у флюоритах із сіро-рожевих дрібно-середньозернистих гранітів верхньої частини свердловини, до того ж сіро-рожеві дрібно-середньозернисті граніти мають найнижчий сумарний вміст лантанодів (218 г/т). Найнижчий рівень лантанодів (692 г/т) та ітрію (831 г/т) визначено у флюоритах з рожево-сірих середньо-грубозернистих гранітів найглибшої частини свердловини. Рожево-сірі середньо-грубозернисті граніти характеризуються високим вмістом лантанодів (797 г/т).

Ключові слова: рідкісноземельні елементи, флюорит, русько-полянські граніти, Корсунь-Новомиргородський плутон, Український щит.

Fluorite is one of the main concentrators of rare earth elements (REE) in the granites of the Ruska Poliana massif of the Korsun-Novomyrhorod pluton of the Ukrainian Shield. Despite its distribution in the granites of the massif, the geochemical features of the fluorites have not yet been investigated. The aim of this work was to determine the content of REE in the fluorites, the granites and to study the distribution of REE in the fluorites and granites containing this mineral.

The content of REE in 4 samples of the granites and 4 monofraction the fluorites from these granites (well № 8568) was determined by the ICP MS method on the Element-2 device at M. P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine (Kyiv). The well № 8568 was drilled in the southeastern part of the Ruska Poliana granite massif of the Korsun-Novomyrhorod pluton of the Ukrainian Shield (Ruska Poliana Village). In this part, the researchers revealed granites with rare metal mineralization. The investigated granites of well are represented by 3 types: the gray-pink fine-medium-grained granites (type I) (156,1–158,0 m), the gray-pink porphyritic granites (type II) (174,6–176,5 m), the gray medium-coarse-grained granites (type III) (225,0–227,0 m) and the pink-gray medium-coarse granites (type III) (239,6–242,0 m).

According to the results of the ICP MS analysis, the highest content of lanthanides (26933 ppm) and yttrium (11 705 ppm) was observed in fluorites from the gray-pink fine-medium granites of the upper part of the well. But the gray-pink fine-medium granites have the lowest total lanthanide content (218 ppm). The lowest levels of lanthanides (692 ppm) and yttrium (831 ppm) were determined in the fluorites of the pink-gray medium-coarse grained granites of the deepest part of the well. The pink-gray medium-coarse granites are characterized by high lanthanide content (797 ppm).

The fluorites from Ruska Poliana of the gray-pink fine-medium grained granites can be compared with the fluorite from Perga granite by the total content of lanthanides.

Among the rock-bearing minerals in biotites from the Ruska Poliana granites of different depths of the well, there is a high content of REE, almost at the level of the granites themselves. Such a high level indicates the presence of inclusions of accessory minerals enriched with REE in the biotites, especially fluorites.

Keywords: rare earth elements, fluorite, Ruska Poliana granites, Korsun-Novomyrhorod pluton, Ukrainian shield.

Вступ. Формування сучасних уявлень про геологічну будову, петролого-геохімічні особливості гранітів Русько-Полянського масиву північно-східної частини Корсунь-Новомиргородського плутону відбулося завдяки комплексу геологічних робіт, які в 70–80-х роках ХХ століття виконувало ДП “Укр-

центр геологія” та у 2009–2013 рр. – ПДРГП “Північгеологія”. У південно-східній частині масиву було виявлено контрастні геохімічні аномалії Zr, Nb, Y, Be, рідкісноземельних (РЗЕ) та інших елементів. Їхнім основним концентратором у гранітах є широкий спектр акцесорних мінералів: циркон, евксеніт-(Y), мінеральні різновиди аланіт- та брітолїт-серій, топаз, флюоро-апатит, ксенотим-(Y), монацит-(Ce), колумбіт-(Fe), гадолініт-(Y), синхізит-(Ce), бастнезит-(Y), паризит-(Ce) (?) та інші [8].

Однак найпоширенішим є флюорит, уміст якого в кислих породах масиву дещо перевищує значення, притаманні рапаківі Корсунь-Новомиргородського плутону УЩ. Попри поширеність флюориту в гранітоїдах Русько-Полянського масиву, геохімічні особливості його як можливого мінерала-концентрація РЗЕ досі не досліджено. Адже в магматичних породах основними носіями РЗЕ можуть бути мінерали кальцію, що зумовлено близькістю іонних радіусів РЗЕ і Са. У гранітоїдах Русько-Полянського масиву таким мінералом також може бути флюорит, який і вибрано в ролі об'єкта дослідження.

Мета роботи полягала у визначенні вмісту РЗЕ у флюоритах і русько-полянських гранітах, що їх уміщують, та дослідженні в них розподілу РЗЕ.

Геологічне положення й будова Русько-Полянського гранітного масиву. Русько-Полянський масив розміщений у північно-східній частині Корсунь-Новомиргородського плутону Інгульського мегаблока УЩ (рис. 1). Масив має овальну форму. Він витягнений з південного сходу (с. Руська Поляна) на північний захід (с. Хрещатик) завширшки на 40 км і охоплює площу приблизно 340 км². У південно-східній частині Русько-Полянського гранітного масиву залягають граніти з рідкіснометалевою мінералізацією. Серед масиву русько-полянських середньо-грубодіоритоподібних гранітів південно-східніше с. Руська Поляна спостерігаються тіла кварцових сієнітів площею до 3,0 км² (рис. 1). Також у південній частині гранітного масиву залягає однойменний масив габроноритів та анортозитів. Північний контакт анортозитового масиву з русько-полянськими гранітами проходить уздовж Русько-Полянського розламу. На півдні та сході Русько-Полянський масив контактує з біотитовими й піроксен-біотитовими гнейсами чечелівської світи інгуло-інгулецької серії та вміщує їх у вигляді ксенолітів. Згідно з даними ДП “Укрцентргеологія” (Черкаської ГРЕ) масив розміщений у зоні скидів північно-західного простягання й граніти поширені в апікальній частині Корсунь-Шевченківського масиву рапаківі. На денну поверхню граніти масиву не виходять, вони залягають під осадовим чохлом потужністю 80–145 м і розкриті численними свердловинами. На південному заході гранітоїдний масив межує з грубо-середньоовідними біотит-амфіболовими й біотитовими гранітами рапаківі.

Русько-Полянський масив утворений різними за структурою гранітами: порфіроподібними різновидами з різною кількістю вкраплення калієвого польового шпату, різнозернистими гранітами від дрібно- до грубозернистих. За мінеральним складом русько-полянські граніти – мусковіт-біотитові, біотитові, амфібол-біотитові іноді мають склад граносієнітів [3].

Основу масиву, за даними дослідників ДП “Укрцентргеологія”, становлять сублужні суттєво калієві граніти, граніти нормального ряду представлені в підпорядкованій кількості [3]. Серед різновидів русько-полянських гранітів сублужні граніти вирізняються найвищою сумою лугів (до 10 %). За кремнекислотністю русько-полянські граніти належать до лейкогранітів і гранітів.

Вік гранітів Русько-Полянського масиву, визначений U-Pb методом за цирконом, становить 1758 ± 3 млн років [3].

Методика досліджень. Для аналітичних досліджень відібрано проби кернів гранітів із чотирьох інтервалів глибин свердловини № 8568 (156,1–158,0; 174,6–176,5; 225,0–227,0 та 239,6–242,0 м) методом пунктирної борозни. З них було підготовлено чотири аналітичні наважки та чотири монофракції флюоритів в Інституті геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М. П. Семененка НАН України. У процесі петрографічних досліджень гранітів використано поляризаційні мікроскопи “МІН-8” та “Nikon eclipse LV100Pol”. Для класифікації їхніх структур застосовано термінологію Ю. Ір. Половинкіної [6].

Уміст РЗЕ у флюоритах і гранітах, які їх уміщують, визначено методом мас-спектрометрії з індуктивно-зв'язаною плазмою (ICP MS) з використанням аналізатора Element-2 в Інституті геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М. П. Семененка НАН України (аналітики: провідний інженер І. Д. Швайка, молодший науковий співробітник О. Г. Антоненко). Еталоном для флюоритів слугує міжнародний стандарт Rare Earth ICP-MS Standard CMS-1, а функцію стандартного зразка для порід виконує внутрішньолабораторний атестований зразок граніту.

Проби гранітів і флюоритів до аналізу готували за такою схемою. У дослідженнях застосовували концентровані кислоти HF, HCl, HNO₃, H₂SO₄ (Merck, Німеччина). Воду з опором 18,2 МОм одержано з використанням системи Direct-03 фірми “Millipore”. Проби розчиняли в МХ-печі ETNOS фірми “Milestone” (Італія). Робоча частота МХ-випромінювання становила 2450 МГц, максимальна потужність – 1600 Вт. Сенсор з керамічним і тефлоновим покриттям надавав значення температури й часу розкладання природних об'єктів і контролював параметри під час реакції в автоклавах за допомогою терміналу з кольоровим монітором (VCA-640–480). Процес реакції в автоклавах відбувався в автоматичному режимі відповідно до вибраної програми й зображувався графічно на екрані комп'ютера.

Зразки до ICP MS аналізу готували за такою аналітичною схемою. Наважки проб 0,05 г поміщали до автоклава

Рис. 1. Схематична геологічна карта кристалічного фундаменту [8] з доповненнями. М-б 1:200 000. Державна геологічна карта України. Центральноросійська серія. Аркуш М-36-XX (Корсунь-Шевченківський), за матеріалами ДП “Північгеологія”

1 – Русько-Полянський масив; 2 – рапаківі Корсунь-Новомиргородського плутону; 3 – основні породи Корсунь-Новомиргородського плутону; 4 – граніти Русько-Полянського масиву; 5 – русько-полянські габро-анортозити та анортозити; 6 – сієніти, кварцові сієніти Русько-Полянського масиву; 7 – рапаківі Корсунь-Шевченківського масиву; 8 – кировоградські граніти; 9 – породи інгуло-інгулецької серії; 10 – розривні порушення: а – імовірні головні, б – імовірні другорядні

з кислотами: 2 мл HF, 1 мл H₂SO₄, 3 мл HCl та 2 мл HNO₃. Ротор з автоклавами розміщували в МХ-печі, яку нагрівали за температури 240 °С впродовж 30 хв. Якщо розкладення проби було не повним, оброблення повторювали. Після охолодження автоклава розчин випаровували на піщаній бані до появи густих білих парів сірчаної кислоти. Залишок солей розчиняли з нагріванням у 5 %-й азотній кислоті. Розчин доводили до позначки 3 %-м розчином азотної кислоти.

Чутливість визначення елементів становить 0,02–0,05 г/т з відносним стандартним відхиленням 0,10–0,15.

Для графічного зображення результатів умісту РЗЕ у флюоритах застосовано нормування по хондриту за працею [10]. Суму РЗЕ церієвої підгрупи визначали як $\Sigma Ce = La + Ce + Pr + Nd + Sm + Eu + Gd$, а суму РЗЕ ітрієвої підгрупи – $\Sigma Y = Tb + Dy + Ho + Er + Tm + Yb + Lu$ за В. А. Невським [5]. Аномалії Eu (Eu/Eu*) обчислено за формулою $Eu/Eu^* = Eu_N / (Sm_N \cdot Gd_N)^{1/2}$, де $Eu^* = (Sm_N \cdot Gd_N)^{1/2}$.

Загальна петрографічна характеристика гранітів свердловини. Досліджені граніти розкрито свердловиною № 8568 на глибині 137,5–252,5 м. У верхній частині розрізу свердловини спостерігаються сіро-рожеві дрібно-середньозернисті мусковіт-біотитові, біотитові граніти з незначною кількістю дрібних порфіроподібних виділень мікрокліну. Граніти глибинної частини розрізу свердловини – це різноманітні за кольором, переважно середньо-грубозернисті, порфіроподібні біотитові граніти з невеликою кількістю амфіболу й жилами аплітоподібних гранітів. Ці жили повністю позбавлені порфіроподібних укрощень мікрокліну.

Текстура гранітів масивна, на окремих ділянках трахітоїдна й директивна. Для досліджених порід характерні різноманітні структури. Найчастіше їм притаманна ксеноморфнозерниста й іноді гранітна структури. Дрібно-середньозернистим гранітам верхньої частини свердловини властива часто аплітова структура, в якій кварц іноді набуває ідіоморфних обрисів, а також дрібнопорфіроподібна та пойкило-пегматитова структури. Глибинніші граніти, що вміщують великі кристали мікрокліну, іноді характеризуються порфіроподібною структурою з підпорядкованим значенням пойкилової та пойкилопегматитової структур. Основна маса цих гранітів має ксеноморфнозернисту структуру. У глибокій частині розрізу свердловини в окремих шліфах спостерігається гранітна структура

– з ідіоморфними кристалами біотиту, гіпідіоморфними кристалами польових шпатів і ксеноморфним кварцом.

Русько-полянські граніти зазнали слабого катаклазу. Він фіксується в таких структурних змінах, як одночасна поява непорушених ділянок і ділянок роздробленого матеріалу. Мікрозерниста кварц-польовошпатована маса утворює цемент поміж ділянками середньозернистої непорушеної структури. У цій масі спостерігаються скалкуваті зубчасті краї мінералів, вигинання й роздробленість пластинчастих зерен біотиту, вигинання двійників плагіоклазу, а також на тлі середньозернистої маси спостерігаються ділянки роздробленого кварц-біотитового матеріалу з розміром зерен менш як 0,5 мм і незначною директивністю зерен мінералів. Крім того, про наявність катакlastичних процесів свідчать перекристалізовані дрібні зерна кварцу, що заліковують тріщини в мінералах та облямовують більші зерна кварцу й хвилясто-блокове згасання кварцу в схрещених ніколях.

Мінеральний склад гранітів з глибиною істотно не змінюється. У верхній частині розрізу свердловини розвинені мусковіт-біотитові граніти, у глибшій – мусковіт-біотитові граніти з невеликою кількістю амфіболу.

Петрографічна характеристика досліджених типів гранітів і флюоритів свердловини. Граніти із чотирьох інтервалів свердловини (гл. 156,1–158,0; 174,6–176,5; 225,0–227,0 та 239,6–242,0 м) представлені трьома типами порід.

I тип (гл. 156,1–158,0 м) – це *сіро-рожеві дрібно-середньозернисті граніти* (рис. 2а). Серед дрібно-середньозернистої маси гранітів іноді спостерігаються ксеноморфні виділення мікрокліну й ідіоморфних таблитчастих кристалів плагіоклазу розмірами до 1 см.

Мінеральний склад, об'ємні %: мікроклін – 50–60, кварц – 25–30, плагіоклаз – 10–20, біотит – 2–7, мусковіт – 0–1.

II тип (гл. 174,6–176,5 м) – *сіро-рожеві порфіроподібні граніти* (рис. 2б) з нерівномірною насиченістю вкраплень мікрокліну. Укращення представлені зональними овоїдами, ксеноморфними виділеннями, а також таблитчастими зернами розміром від 1 до 3–4 см. На окремих ділянках спостерігається граніт з трахітоїдною текстурою, зумовленою закономірно орієнтованим розміщенням в основній масі породи великих кристалів мікрокліну. Фіксується кварц блакитного кольору. Мінеральний склад, об'ємні %: мікроклін – 35–50, кварц – 35, плагіоклаз – 10–20, біотит – до 5, мусковіт – менш як 1.

III тип гранітів (гл. 225,0–227,0 м та гл. 239,6–242,0 м) представлений двома різновидами: *сірими середньо-грубозернистими гранітами* (гл. 225,0–227,0 м) і *рожево-сірими середньо-грубозернистими гранітами* (гл. 239,6–242,0 м). У *сірих гранітах* (рис. 2в) іноді спостерігаються великі кристали плагіоклазу (до 2,5 см). Кількість плагіоклазу в них може збільшуватися до 40 %. *Рожево-сірі граніти* (рис. 2г) мають незначну кількість великих ксеноморфних, іноді овоїдних виділень мікрокліну (розміром до 2 см). Мінеральний склад III типу гранітів, об'ємні %: мікроклін – 25–60,

Рис. 2. Зразки кернів гранітів із чотирьох інтервалів глибин свердловини № 8568

а – сіро-рожеві дрібно-середньозернисті граніти (I тип); б – сіро-рожеві порфіроподібні граніти (II тип); в – сірі середньо-грубозернисті граніти (III тип); г – рожево-сірі середньо-грубозернисті граніти (III тип)

кварц – 20–35, плагіоклаз – 10–40, біотит – до 7, рогова обманка – 0–1.

Макроскопічно флюорит з досліджених русько-полянських гранітів чотирьох інтервалів глибин свердловини спостерігається у вигляді гнізд, прожилків, що

Рис. 3. Флюорити з русько-полянських гранітів чотирьох інтервалів глибин свердловини № 8568 у біотит-кварц-польовошпатовій масі під оптичним мікроскопом у прохідному світлі, без аналізатора а, б – ксеноморфні нерівномірно забарвлені зерна флюориту, що межують з біотитом; в – таблитчасте майже безбарвне зерно флюориту в плагіоклазі з фіолетовою плямою; г – прожилки безбарвного флюориту в мікротріщинному просторі породотвірних мінералів

заповнюють мікротріщини в гранітах, а також окремих зерен флюориту фіолетового кольору. У шліфах (рис. 3а, б, в, г) мінерал утворює дрібні безбарвні й нерівномірно забарвлені в бурій, світло-фіолетовий кольори кристали, часто напівпрозорі внаслідок численних укріплень інших мінералів. Флюорит спостерігається у вигляді округлих, ксеноморфних, іноді таблитчастих агрегатів розміром 0,3–2,0 мм, а також розвивається у вигляді ланцюжків окремих зерен у мікротріщинному просторі породотвірних мінералів, часто на границі зерен породотвірних мінералів.

Результати дослідження русько-полянських гранітів і флюоритів. Результати дослідження різних типів гранітів і флюоритів, що їх уміщують, графічно зображено на рис. 4а, б, в, г, а також у вигляді табличних даних (таблиця).

У сіро-рожевих дрібно-середньозернистих гранітах I типу (гл. 156,1–158,0 м) спостерігається “рівноплече” розподілення РЗЕ церієвої та ітрієвої підгруп ($[La/Yb]_N=1,00$), водночас сумарний уміст РЗЕ церієвої підгрупи (ΣCe) становить 149 г/т, а ітрієвої (ΣY) – 69 г/т. Для першого типу гранітів характерний найнижчий серед трьох досліджених типів гранітів сумарний уміст лантанодів (ΣPZ) – 218 г/т і найглибша негативна Eu аномалія ($Eu/Eu^*=0,072$). РЗЕ-спектри дрібно-середньозернистих гранітів ідентичні таким фанерозойським Li-F гранітів та онгонітів [2]. Згідно з В. І. Коваленко [4] таким породам властиве “рівноплече” розподілення лантанодів церієвої та ітрієвої підгруп, глибока негативна Eu аномалія, а також дуже низькі значення K/Rb, La/Nb й високе K/Ba відношення.

Флюорити з гранітів I типу мають найвищий сумарний уміст лантанодів ($\Sigma PZ=26933$ г/т). Їм притаманна глибока Eu аномалія ($Eu/Eu^*=0,027$) з $[La/Yb]_N=2,84$ і переважання ΣCe (22267 г/т) над ΣY (4666 г/т).

Для II типу сіро-рожевих порфіроподібних гранітів (гл. 174,6–176,5 м) характерний диференційований розподіл РЗЕ ($[La/Yb]_N=8,55$) зі збагаченням РЗЕ церієвої підгрупи ($\Sigma Ce=575$ г/т) проти ітрієвої ($\Sigma Y=64$ г/т) і наявність також глибокого Eu мінімуму ($Eu/Eu^*=0,090$). ΣPZ фіксується на рівні 639 г/т.

Флюоритам з гранітів II типу властивий слабо диференційований розподіл РЗЕ ($[La/Yb]_N=1,22$), з майже “рівноплечим” розподілом РЗЕ церієвої та ітрієвої підгруп (рис. 4б), але з переважанням ΣCe над ΣY приблизно вдвічі й з Eu аномалією $Eu/Eu^*=0,012$. Сумарний уміст лантанодів у таких флюоритах зменшується в декілька разів, порівнюючи з флюоритами з I типу гранітів, і становить 5160 г/т.

III тип гранітів – сірі середньо-грубозернисті граніти (гл. 225,0–227,0 м) характеризуються також глибокою Eu аномалією $Eu/Eu^*=0,134$, диференційованим

Рис. 4. Спектри розподілу РЗЕ у флюоритах (суцільна лінія червоного кольору) і русько-полянських гранітах, що їх уміщують (пунктирна лінія чорного кольору), із чотирьох інтервалів глибин свердловини № 8568

розподілом РЗЕ ($[La/Yb]_N=7,02$), $\Sigma PZE=435$ г/т, водночас ΣCe фіксується на рівні 387 г/т, а $\Sigma Y=48$ г/т.

У флюоритах із цих гранітів спостерігається переважання суми РЗЕ церієвої підгрупи ($\Sigma Ce=11\,57$ г/т) над ітрієвою ($\Sigma Y=734$ г/т) з $\Sigma PZE=11\,891$ г/т та $Eu/Eu^*=0,054$. Порівнюючи з флюоритами трьох інших глибин, флюорити із сірих середньогрубозернистих гранітів характеризуються найвищим значенням лантан-ітербієвого нормованого відношення ($[La/Yb]_N=14,11$).

Рожево-сірим середньогрубозернистим гранітам III типу (гл. 239,6–242,0 м) властивий високий сумарний уміст лантанодів ($\Sigma PZE=797$ г/т) і значення лантан-ітербієвого нормованого відношення ($[La/Yb]_N=10,43$). Граніти характеризуються переважанням суми РЗЕ церієвої підгрупи ($\Sigma Ce=724$ г/т) над ітрієвою ($\Sigma Y=73$ г/т) та глибоким Eu мінімумом ($Eu/Eu^*=0,121$).

Флюорити з рожево-сірих середньогрубозернистих гранітів мають найнижчу серед досліджених флюоритів ΣPZE (692 г/т) з $Eu/Eu^*=0,070$. Їм властивий помірно диференційований розподіл РЗЕ церієвої та ітрієвої підгруп ($[La/Yb]_N=2,61$). Сумарна кількість РЗЕ церієвої підгрупи становить 546 г/т, а ітрієвої – 146 г/т.

Як засвідчили дослідження русько-полянських гранітів [3], уміст Y в гранітах свердловини поступово зменшується з гли-

Таблиця. Уміст рідкісноземельних елементів у русько-полянських гранітах і флюоритах із чотирьох глибин свердловини № 8568

Граніти				
Компонент	Глибина, м			
	156,1–158,0	174,6–176,5	225,0–227,0	239,6–242,0
La	26	182	100	202
Ce	58	221	148	264
Pr	8	31	22	42
Nd	32	101	81	149
Sm	11	20	18	32
Eu	0,30	0,58	0,77	1,26
Gd	14	19	17	32
Tb	3	4	3	5
Dy	21	22	17	29
Ho	5	5	4	6
Er	16	15	10	16
Tm	3	2	2	2
Yb	18	14	10	13
Lu	3	2	2	2
ΣPZE	218	639	435	797
ΣCe	149	575	387	724
ΣY	69	64	48	73
Eu/Eu^*	0,072	0,090	0,134	0,121
$(La/Yb)_N$	1,00	8,55	7,02	10,43
Флюорити				
Компонент	Глибина, м			
	156,1–158,0	174,6–176,5	225,0–227,0	239,6–242,0
La	4631	1045	2776	119
Ce	9384	1882	5059	223
Pr	1202	222	537	26
Nd	4675	1058	2054	109
Sm	1203	376	385	29
Eu	10,3	1,8	6,4	0,8
Gd	1162	575	340	39
Tb	207	116	53	7
Dy	1613	807	293	51
Ho	349	194	58	12
Er	1062	589	155	35
Tm	168	90	22	5
Yb	1102	580	133	31
Lu	165	89	20	5
ΣPZE	26933	7625	11891	692
ΣCe	22267	5160	11157	546
ΣY	4666	2465	734	146
Eu/Eu^*	0,027	0,012	0,054	0,070
$(La/Yb)_N$	2,84	1,22	14,11	2,61

биною з 395 г/т (сіро-рожеві дрібно-середньозернисті граніти верхньої частини свердловини) до 250 г/т (найглибші рожево-сірі середньогрубозернисті граніти). Зменшення вмісту Y також фіксується і у флюоритах. Найзбагаченіші Y флюорити із сіро-рожевих дрібно-середньозернистих гранітів I типу (гл. 156,1–158,0 м). Кількість Y в цих флюоритах становить 11 705 г/т. У флюоритах із сіро-рожевих порфіроподібних гранітів на гл. 174,6–176,5 м (II тип) це значення фіксується на рівні 8279 г/т, у флюоритах із сірих середньогрубозернистих гранітів на гл. 225,0–227,0 м (III тип) – 2235 г/т. А найменший уміст Y , визначений у флюоритах з рожево-сірих середньогрубозернистих гранітів на гл. 239,6–242,0 м (III тип), становить 831 г/т.

Обговорення результатів дослідження. Між умістом ΣPZE у флюоритах і гранітах, що їх уміщують, спостерігається обернена залежність. Як зауважено в попередніх дослідженнях русько-полянських гранітів [3], від сіро-рожевих дрібно-середньозернистих гранітів I типу верхньої частини свердловини до найглибших рожево-сірих середньогрубозернистих гранітів (III тип) спостерігається поступове зростання ΣPZE до 973 г/т. У цьому напрямку вміст ΣPZE у флюоритах зменшується. У флюоритах із сіро-рожевих дрібно-середньозернистих гранітів верхньої частини розрізу свердловини вміст ΣPZE приблизно в 120 разів вищий за вміст ΣPZE у самих гранітах (рис. 4а). З глибиною такий розрив суттєво зменшується (рис. 4а, б, в, г), і в рожево-сірих середньогрубозернистих гранітах найглибшої частини свердловини вміст ΣPZE вищий, ніж у флюоритах (рис. 4г).

У співвідношенні ΣCe та ΣY спостерігається відмінність між гранітами I, II та III типів порід (таблиця). Частка ΣY у дрібно-середньозернистих гранітах (I тип) вища, ніж у гранітах з інших типів. Так, у гранітах I типу $\Sigma Ce/\Sigma Y=2,2$; для інших досліджених гранітів відношення $\Sigma Ce/\Sigma Y$ становить >8 . У флюоритах із цих гранітів такої закономірності не спостережено. У флюоритах із сіро-рожевих дрібно-середньозернистих гранітів I типу відношення $\Sigma Ce/\Sigma Y$ становить 4,8; у флюоритах із сіро-рожевих порфіроподібних гранітів II типу – 2,1; у флюоритах із сірих середньогрубозернистих гранітів (III тип) відношення $\Sigma Ce/\Sigma Y$ набуває максимального значення – 15,2; у флюоритах із рожево-сірих середньогрубозернистих гранітів $\Sigma Ce/\Sigma Y=3,7$.

Аналізуючи РЗЕ, варто зауважити, що зі зростанням ΣPZE у гранітах зменшується в них уміст Y , водночас у флюоритах із цих гранітів спостерігається зменшення вмісту і ΣPZE , і Y .

Серед породотвірних мінералів у біотитах з русько-полянських гранітів різних глибин свердловини спостерігається високий уміст ΣPZE [9], майже на рівні самих гранітів (рис. 5). Такий високий їхній рівень указує на наявність укріплень акцесорних мінералів, збагачених РЗЕ в біотитах, насамперед флюориту.

Треба зазначити, що за сумарним умістом лантанодів флюорити з русько-полянських сіро-рожевих дрібно-середньозернистих гранітів ($\Sigma PZE=26\,933$ г/т) можна зіставити з флюоритами з пержанського граніту ($\Sigma PZE=23\,390$ г/т [7]). Пержанський флюорит відрізняється від русько-полянських флюоритів (рис. 6) іншим співвідношенням церієвої та ітрієвої підгруп лантанодів з $\Sigma Ce/\Sigma Y=1,33$.

Загалом уміст РЗЕ у флюоритах може сягати кількох десятків відсотків. З праці В. В. Архангельської [1] довідуємося про рідкісний випадок розпаду твердого розчину флюориту, збагаченого РЗЕ (33,8–40,1 %), у якому новоутвореною фазою розпаду є фторид РЗЕ – флюоцерит (родовище Zr-Nb-Ta-REE, с-ще Катугіно на Забайкаллі, РФ). Флюоцерит виявлений також у русько-полянських гранітах [3].

Рис. 5. Розподіл РЗЕ [9] у русько-полянських гранітах (сіре поле) свердловини № 8568 з інтервалу глибини 139,2–252,5 м і в породотвірних мінералах гранітів з трьох глибин свердловини 1 – із сіро-рожевих дрібно-середньозернистих гранітів (гл. 145,4 м); 2 – із сіро-рожевих дрібно-середньозернистих гранітів (гл. 161,5 м); 3 – із сірих середньо-грубозернистих гранітів (гл. 202,0 м)

Рис. 6. Розподіл РЗЕ у флюориті з пержанського граніту [7] і в досліджених флюоритах з русько-полянських гранітів чотирьох інтервалів глибини свердловини № 8568

Висновки. Серед досліджених флюоритів і гранітів, що їх уміщують, найвищий уміст лантаноїдів (26 933 г/т) та ітрію (11 705 г/т) визначений у флюоритах із сіро-рожевих дрібно-середньозернистих гранітів верхньої частини свердловини, водночас сіро-рожеві дрібно-середньозернисті граніти мають найнижчий сумарний уміст лантаноїдів (218 г/т) і найвищий ітрію. Найнижчий рівень лантаноїдів (692 г/т) та ітрію (831 г/т) визначено у флюоритах з рожево-сірих середньо-грубозернистих гранітів найглибшої частини свердловини. Для рожево-сірих середньо-грубозернистих гранітів характерний високий уміст лантаноїдів (797 г/т).

Варіація розподілу РЗЕ в русько-полянських гранітах визначається варіацією кількості флюориту в цих породах. Флюорит є одним з головних акцесорних мінералів-концентраторів РЗЕ. Його роль як концентратора лантаноїдів зростає у найбільш диференційованих сіро-рожевих дрібно-середньозернистих гранітах.

Автори вдячні доктору геол. наук, заступникові директора ІГМР ім. М. П. Семененка НАН України Л. М. Степанюку за суттєві зауваження та цінні поради під час підготування статті.

ЛІТЕРАТУРА

1. Архангельская В. В. Уникальный минеральный вид – редкоземельный флюорит с необычайно высоким содержанием редких земель и иттрия // Структура и разнообразие минерального мира. Материалы междунар. минералог. семинара (Сыктывкар, 17–19 июня 2008 г.). – Сыктывкар: Геопринт, 2008. – С. 49–50.

2. Заяць О. В. Геохімія русько-полянських рідкіснометалевих гранітів Корсунь-Новомиргородського плутону (Інгульський мегаблок УЩ) // Мінерал. журн. – 2015. – № 3. – С. 67–77.

3. Заяць О. В. Геохімія русько-полянських рідкіснометалевих гранітоїдів Корсунь-Новомиргородського плутону // Автореф. дис. ... канд. геол. наук. – Київ, 2017. – 20 с.

4. Коваленко В. І., Ярмолюк В. В., Будников С. В., Царева Г. М., Сальникова Е. Б., Ковач В. П., Котов А. Б., Яковлева С. З. Гранітоїди Югодырського району (Юго-Восточная Монголия) і зв'язь з ними W-Mo оруднення // Геол. рудн. месторож. – 1999. – № 5. – С. 404–424.

5. Невский В. А., Гинзбург А. И., Козлова П. С., Онтоев Д. О., Апельцин Ф. Р., Куприянова И. И., Кудрин В. С., Эпштейн Е. М. Геология постмагматических ториево-редкометаллических месторождений. – Москва: Атомиздат, 1972. – 408 с.

6. Половинкина Ю. И. Структуры и текстуры изверженных и метаморфических горных пород. Словарь терминов. Ч. 1. – Москва: Недра, 1966. – 240 с.

7. Пономаренко О. М., Возняк Д. К., Самчук А. І., Бельський В. М. До походження флюориту Суцано-Пержанської рудної зони (Український щит) // Доп. НАН України. – 2017. – № 11. – С. 52–58.

8. Пономаренко О. М., Мікуш Т., Курило С. І., Бондаренко С. М., Заяць О. В., Гринченко О. В., Сьомка О. В., Єлень С. Нові дані про акцесорні мінерали із руськополянських гранітів Корсунь-Новомиргородського плутону Українського щита // Мінерал. журнал. – 2019. – 41. – № 2. – С. 3–17.

9. Пономаренко О. М., Самчук А. І., Заяць О. В., Проскурка Л. І., Швайка І. Д., Швайка І. А. Визначення вмісту рідкісноземельних елементів у породотвірних мінералах русько-полянських гранітів методом мас-спектрометрії // Проблеми теоретичної і прикладної мінералогії, геології, металогенії гірничодобувних регіонів. Матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції (Криворізь. нац. ун-т 29 лист. – 1 груд. 2018). – Кривий Ріг, 2018. – С. 53–56.

10. Тейлор С. Р., Мак-Леннан С. М. Континентальная кора: ее состав и эволюция. – Москва: Мир, 1988. – 384 с.

REFERENCES

1. Arhangel'skaya V. V. A unique mineral species is rare earth fluorite with an unusually high content of rare earths and yttrium // Struktura i raznoobrazie mineral'nogo mira. Materialy mezhdunar. mineralog. seminar, Syktyvkar, June 17–19. – Syktyvkar, 2008. – P. 49–50. (In Russian).

2. Zaiats O. V. Geochemistry of Ruska-Polyana rare-metal granites of Korsun-Novomyrhorod Pluton (Inhul Megablock, the Ukrainian Shield) // Mineraloh. zhurnal. – 2015. – Vol. 37. – № 3. – P. 67–77. (In Ukrainian).

3. Zaiats O. V. Geochemistry of Ruska-Polyana rare-metal granitoids of the Korsun-Novomyrhorod pluton // Abstract of Ph.D. dis., M. P. Semenenko IGMOF of NAS of Ukraine. – Kyiv, 2017. – 20 p. (In Ukrainian).

4. Kovalenko V. I., Jarmolyuk V. V., Budnikov S. V., Careva G. M., Salnikova E. B., Kovach V. P., Kotov A. B., Yakovleva S. Z. Granitoids of the Yugodzir region (Southeastern Mongolia) and the W-Mo mineralization associated with them // Geol. rudn. mestorozh. – 1999. – № 5. – P. 404–424. (In Russian).

5. Nevskij V. A., Ginzburg A. I., Kozlova P. S., Ontoev D. O., Apeleyn F. R., Kupriyanova I. I., Kudrin V. S., Epshteyn E. M. Geology of postmagmatic thorium-rare-metal deposits. – Moskva: Atomizdat, 1972. – 408 p. (In Russian).

6. Polovinkina Ju. I. Structures and textures of igneous and metamorphic rocks. Glossary of terms. Part 1. – Moskva: Nedra, 1966. – 240 p. (In Russian).

7. Ponomarenko O. M., Vozniak D. K., Samchuk A. I., Belskyi V. M. To the origin of the fluorite of the Sushchany-Perha ore zone (the Ukrainian Shield) // Dopovidi NAN Ukrainy. – 2017. – № 11. – P. 52–58. (In Ukrainian).

8. Ponomarenko O. M., Mikush T., Kurylo S. I., Bondarenko S. M., Zaiats O. V., Hrinchenko O. V., Somka V. O., Yelen S. New data on accessory minerals of Ruska Polyana granites of Korsun-Novomyrhorod pluton of Ukrainian Shield // Mineraloh. zhurnal. – 2019. – Vol. 41. – № 2. – P. 3–17. (In Ukrainian).

9. Ponomarenko O. M., Samchuk A. I., Zaiats O. V., Proskurka L. I., Shvaika I. D., Shvaika I. A. Determination of the content of rare earth elements in rock minerals of Ruska Polyana granites by mass spectrometry // Problemy teoretichnoi i prykladnoi mineralohii, heolohii, metalogonii hirnychodobuvnykh rehioniv. Materialy XI Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii. Kryvyi Rih National University, 29 November – 1 December 2018). – Kryvyi Rih, 2018. – P. 53–56. (In Ukrainian).

10. Taylor S. R., McLennan S. M. The continental crust: Its composition and evolution. – Moskva: Mir, 1988. – 384 p. (In Russian).

Рукопис отримано 22.10.2019.