

УДК 553:552.3

<https://doi.org/10.30836/gbhgd.2024.47>

РОДОВИЩА КОРИСНИХ КОПАЛИН ТА МАГМАТИЧНІ РАПАКІВІГРАНІТНІ АСОЦІАЦІЇ

Михальченко І. І.¹, Заяць О. В.²

¹Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», Київ

²Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України м. Київ

MINERAL DEPOSITS AND MAGMATIC RAPKIVIGRANITE ASSOCIATIONS

Mihalchenko I.I., Zaiats O.V.

¹State Institution "The Institute of Environmental Geochemistry of NAS of Ukraine", Kyiv

²M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of NAS of Ukraine
Kyiv, Ukraine

The paper presents data that provide grounds for the assertion that in the process of the formation of complex anorthosite-rapakivigranite plutons, the formation of complex ore apatite-Fe-Ti and Cu-Ni-Co deposits, which are associated with the formation of basite phases and complex deposits of Li, Be, Zn, Pb, HFSE, sometimes with polymetals - with the formation of rapakivigranite associations. Reasons are given for the assertion that in the final phases of the melts that formed the anorthosite-rapakivigranite plutons, the accumulation and fractionation of HFSE, in particular, U and Th, took place. The variability of H₂O, O₂ and F fugitives could influence the processes of fractionation of chemical elements in post-magmatic fluids and, accordingly, the character of ore mineralization. These plutons control the placer deposits that formed from the decomposed matter of these magmatites.

Вступ. Плутони рапаківігранітних асоціацій почали розглядатися як металогенічний магматичний фактор декілька десятиліть тому, коли в межах деяких таких масивів та в районах їхнього розповсюдження було виявлено значну кількість різноманітних промислових родовищ металевих (і неметалевих) корисних копалин, що дало підставу для розуміння важливості рудоконтролюючого і металогенічного факторів таких складних гранітних масивів (батолітів). Ступінь вивчення як масивів (батолітів), так і ділянок довкола їх в різних частих земної кори є вкрай нерівномірною, відповідно, існує низка проблем, які наразі потребую свого вирішення, однією з яких є оцінка в просторі й часі значення магматичного металогенічного фактора для родовищ, зокрема, металевих корисних копалин, котрі відомі як у районах розповсюдження рапаківігранітних магматичних асоціацій, так і для земної кори.

Аналіз публікацій. На сьогодні відомі дві фундаментальні роботи, в яких висвітлено результати розробки металогенічного фактора рапаківігранітних масивів (батолітів), це: стаття Наарала І. «Metallogeny of the Rapakivi Granites» 1995 року [4] й монографія Ларіна О. М. «Граниты рапакиви и ассоциирующие породы» 2011 року [3].

Наарала І. звернув увагу на те, що петрографічна та геохімічна еволюція (імовірно, малися на увазі реконструкції) плутонів рапаківі подібна до еволюції фанерозойських анорогенних комплексів оловоносних гранітів, а інтрузивні фази пізньої стадії демонструють ті ж петрографічні, мінералогічні та геохімічні особливості, що й оловоносні граніти в цілому, за наявністю топазу та каситериту як ранніх (магматичних) мінералів у деяких гранітах пізньої стадії Наарала І. Зробив припущення, що первісна магма вже була збагачена

мікроелементами, такими як F та Sn. За цим було віддано перевагу моделі породотворення, згідно з якою граніти пізньої стадії, кристалізовані з розплавів, збагачених леткими речовинами, спочатку були геохімічно аномальними, і що цей аномальний характер (спеціалізація) ще більше посилювався під час автометаморфічних реакцій флюїд-порода. Було зроблено висновок, що граніти рапаківі є металоогенічно важливими через їхні Sn-поліметалічні родовища та родовища Fe-Cu (-U-Au-Ag) типу Олімпік-Дам [4].

Ларін О. класифікував рапаківігранітні комплекси на чотири асоціації: анортозит-мангерит-чарнокіт-рапаківігранітну, анортозит-мангерит-рапаківіграніт-лужногранітну, габро-рапаківіграніт-фюїдитову і рапаківіграніт-шошонітову, надав опис рудних родовищ, які відомі як у магматичних породах таких масивів, генетичний зв'язок з якими дуже ймовірний, при цьому акцентував увагу на тому, що з гранітами рапаківі асоціюють також родовища різних типів (редкометалеві, уранові, поліметалеві) формування яких відірвано в часі від кристалізації гранітів на десятки, а іноді й сотні мільйонів років і мають з ними складніші і не завжди однозначні зв'язки [3].

При аналізі інформації, яку викладено в [3, 4], ми звернули увагу на те, що авторами не було наведено дані про наявність у районі Корсунь-Новомиргородського плутону родовищ ураноносних лужних натрієвих метасоматитів Кіровоградської металоогенічної зони та Центральноукраїнського уранового рудного району, родовищ Лі Полохівське, Станкувате, Надія [1]. Також автором не згадані родовища ураноносних лужних натрієвих метасоматитів рудного району Маунт-Айза, що знаходиться в зоні східного екзоконтакту Сібелла-батоліту (Північна Австралія), та рудних районів Авідс'яур та Ар'єплуг Балтійського щита.

Об'єкт дослідження: родовища корисних копалин районів складних плутонів (масивів) з рапаківігранітних асоціацій. **Предмет дослідження:** зв'язок родовищ металевих корисних копалин з магматичними фазами прапаківігранітних магматичних асоціацій. **Мета:** визначити типи родовищ металевих корисних копалин, які пов'язані з магматичними рапаківігранітними асоціаціями й особливості спектрів REE, характерних для цих порід.

Методи. Формаційний метод металоогенічного аналізу. Геохімічні методи. Порівняльний аналіз. У процесі виконання дослідження було використано дані Bettencourt et al. (1999, 2011), Lenharo et al. (2003), Ferron et al. (2010), Oreskes et al. (1990), Bielecki et al. (1980), Ducharme et al. (2020), Hiatt et al. (2010), Rainbird et al. (2003), Lightfoot et al. (2012), Adamek et al. (1977), Wilde (2013), Polito et al. (2009), Konyshchov et al. (2020), [3] та Державних геологічних карт.

Завдання дослідження. 1. Зібрати й систематизувати дані з рудного насичення анортозит-рапаківігранітних плутонів й навколишніх районів. 2. Розкрити характер накопичення REE у породах й відповідні особливості зміни оцінок відношення La_N/Yb_N .

Результати дослідження. На теперішній час в складних рапаківігранітних плутона та їхніх сателітах відомі родовища й рудопрояви (в дужна – найменування масиву(батоліту):

1. **Ni-Cu-Co родовища:** Ni-Cu-Co Восіс-Бей (у троктолітах комплексу Найн) Cu-PGE Чінейске (Чінейський, Кодаро-Удоканський район), Ni-Co-Cu-Pb Пугачівський рудопрояв, Cu-Ni-Pt рудопрояв Железняки (Коростенський, Український щит).

2. **Апатит-Fe-Ti родовища в основних породах:** Теллес (Роголанд), Сенфорд-Хілл (Мерсі) и Лак-Тіо (Лак-Аллард), Большой Сейм и Куронах (Куронахський), Богіде, Маймакан, Джанінське, Гаюмське (Джугджурський), Айрон-Маунтін (комплекс Ларамі), Fe-Ti-V – Вершинно-Інгамакітське и Верхнечінейске (Чінейський), ар-Ti+Fe+V – Поромівське, Видобірське, Рижанське, Кропивенське, Стремгородське, Федорівське (Коростенський), Носачівське, Волковське (Корсунь-Новомиргородський, Український щит).

3. **Sn-рідкіснометалеві родовища:** Пержанська зона з рідкіснометалевими (Be, Sn, W, Li, Ta, Nb, Th, Mo, Bi) та кріолітовою мінералізацією (Коростенський), Бом-Футуро та Санта-Барбара (Молоді Граніти Рондонії), Sn-рідкіснометальне+Th Мадейра (Мадейра, Пітінга), родовища (Sn, Nb, Ta) Сурікусу, Мукайа, (Паргуаза, Амазонський кратон), дрібні родовища Sn-грейзенового та кварцовожильного типів (Сан-Лоренцо-Каріпунас, провінція Рондонія, Амазонський кратон), прояви рідкіснометалевої мінералізації кварцовожильного та грейзенового типів у гранітах рапаківі Піткярнтського рудного району (Салмінський, Балтійський щит).

4. **Sn-рідкіснометалево-поліметалеві родовища:** Агуа-Боа (Агуа-Боа, Пітінга), Sn-W-поліметалеві: Иту (W), Коррейас (Sn, W, Zn, Cu, Pb) и Сан-Франциска (Sn, W, флюорит) (усі – магматичний пояс Плурисеріал-Рібейра), скарнові родовища з Fe-Sn-редкометально-поліметалевим та флюоритовим зруднінням Уукса, Хопунаара, Люпікко та ін., прояви редкометальної та Sn-редкометальної мінералізацією, кварцові й епідот-кварцові жили з Pb-Zn-Ag кварцовожильного і грейзенового типів Піткярнтського рудного району в рапаківі й у сланцах та гнейсогранітах, які тяжіють до вузької «смуги», що простягається вздовж північно-західного контакту Салмінського масиву.

5. **Zr-рідкіснометалеві родовища:** Яструбецьке (Коростенський), Zr-Y-Nb-REE-Be родовище Стрендж-Лейк (Стрендж-Лейк, район комплексу Найн, Канада).

6. **U-Th-LREE-Zr пегматити** рудопрояву Нуелтін (Нуелтін, Канада).

7. **Камерні пегматити:** Волинське (Коростенський).

Родовища металевих корисних копалин, які відомі в районах складних рапаківігранітних плутонів:

8. **Розсипища:** в районах рапаківігранітних плутонів відомі розсипища апатиту, Ti, та Sn, Ta, Nb, Zr.

9. **Рідкіснометалеві пегматити:** родовища Li Полоховське, Станкуватське, Надія, Липнязький рудопрояв (Корсунь-Новомиргородський).

10. **Th-U, U родовища в натрієвих метасоматитах:** Центральнотуркменського уранового рудного району й Кіровоградської металогенічної зони (Корсунь-Новомиргородський); рудного району Маунт-Айза (Сібелла, Австралія), райони Авідсьяур, Арьеплуг (інтрузиви групи Сорсель, Швеція (за Adamek et al. (1977), Біверлодж (Нуелтін, Канада).

11. *U родовища «незгідності»*: Кіггавік (Нуелтін, Канада), Карку (Салмінський, Балтійський щит), родовища районів Аллігейтор-Риверс, Саут-Аллігейтор и Рам-Джангл (батоліти Сібела й і Теннант-Крік, Північна Австралія).

12. *Cu-U-Au-Ag-REE родовище Олімпік-Дам* (Бургойн, Південна Австралія) (Oreskes et al. (1990), [3]).

Обговорення результатів. За наведеними даними для (ультрабазит)-базитових фаз анортозит-рапаківігранітних плутонов характерні апатит-Fe-Ti-(V), рідше Ni-Cu-Co родовища. Процеси, які відбувалися за утворення гранітних фаз, призвели до формування комплексних родовищ Li, Be, Zn, Pb й HFSE, рідкіснометалевих й камерних пегматитів. Реконструйована насиченість кислих магм галогенами, насамперед F [3], була причиною концентрації й фракціонування, зокрема, HFSE як й у магмі, так і в постмагматичних флюїдах про що зараз свідчить відмінність концентрацій HFSE в магматичних фазах рапаківігранітних асоціацій й у постмагматичних утвореннях. Показова відмінність в оцінках \sum_{REE} й відношень La_N/Yb_N та Eu/Eu^* які розраховано для гірських порід основних фаз й постмагматичних утворень.

Спектри REE визначаються позитивною європейською аномалією для анортозитів, й негативною – для кислих відмінностей.

Нами була встановлена загальна тенденція до зменшення оцінок La_N/Yb_N за збільшення оцінок \sum_{REE} у кислих породах. У пробі руди (пегматит) з родовища Мадейра із оцінкою $\sum_{REE} = 17080,7$ ppm оцінка $La_N/Yb_N = 0,0002$, у вміщуючому рапаківі $La_N/Yb = 10,87$. У пробі руди з родовища Стрендж-Лейк із оцінкою $\sum_{REE} = 25520,8$ ppm оцінка $La_N/Yb_N = 1,76$, при тому, що у гіпесольвіусному вміщуючому граніті цього масиву $\sum_{REE} = 624$ ppm, $La_N/Yb_N = 3,52$. Для рапаківі Корсунь-Новомиргородського плутону $\sum_{REE} = 201-328$ ppm, $La_N/Yb_N = 12,20$, в руськополянських рідкіснометалевих гранітах \sum_{REE} (середнє з шести проб) – 379,81 ppm, $La_N/Yb_N = 1,61$ (розраховано за даними з [2]). Виключення – порідна асоціація рапаківі Нуелтін: при оцінці \sum_{REE} в рапаківі – 239,44 ppm, $La_N/Yb_N = 5,65$; у рудному пегматиті Нуелтін $\sum_{REE} = 86153,94$ ppm, $La_N/Yb_N = 224,01$.

За наявності топазвмісних фаз тенденція до зменшення оцінок La_N/Yb_N зберігається, однак за зменшення й оцінок \sum_{REE} у цих породах рапаківігранітних фаз. Для рапаківі Агуа-Боа \sum_{REE} (середнє з двох проб) – 374,96 ppm, $La_N/Yb_N = 10,22$, в топазовому граніті \sum_{REE} (середнє з трьох проб) – 288,69 ppm, $La_N/Yb_N = 2,1$. Для рапаківі Салмінського батоліту $\sum_{REE} = 798,61$ ppm, $La_N/Yb_N = 18,21$, в топаз-цинвальдітовому граніті $\sum_{REE} = 67,47$ ppm, $La_N/Yb_N = 0,90$.

За наведеними даними магматичний фактор був визначальним для утворення Ni-Cu-Co, апатит-Fe-Ti, Sn-рідкіснометалевих, Sn-рідкіснометалевих-поліметалевих, Zr-рідкіснометалевих родовищ, які відомі в складних рапаківігранітних плутонах та їхніх сателітах, або поблизу їх. В остаточних фазах розплавів, які утворили анортозит-рапаківігранітні плутони відбувалися концентрація й розділення Li, Be, Zn, Pb, HFSE, зокрема, U й Th. Імовірно, на характер фракціонування й осадження руд з флюїдів магматичного походження мали впливи, зокрема, геохімічний бар'єр водоносний горизонт й збільшення фугітивності O_2 . Варіативності фугітивностей H_2O , O_2 , F могли впливати на

процеси фракціонування хімічних елементів у постмагматичних флюїдах й, відповідно, на характер рудної мінералізації.

Потребує уваги факт наявності в геологічній будові кристалічних фундаментів усіх, без винятку, рудних районів з родовищами U типу «незгідності» масивів рапаківігранітних плутонів. Концентрація U й Th в остаточних розплавах й постмагматичних флюїдах магм рапаківігранітних плутонів реконструюється за складом вміщуючих порід і руд родовища Пітінга, рудопрояву Нуелтін, родовища Стрендж-Лейк, рідкіснометалевих гранітів Руськополянського масиву та ін. Відділення з проміжного глибинного магматичного осередку значної маси флюїду (час відділення флюїду в цьому контексті не має значення) з високою концентрацією U й Th могло бути причиною утворення родовищ U типу «незгідності» чи родовищ ураноносних натрієвих метасоматитів, або унікального комплексного родовища Олімпік-Дам. Ці обставини обумовлюють підстави для постановки пошукових робіт, зокрема, до площ північного й південного екзоконтактів Коростеньського плутону. Наявність прямих пошукових ознак є підґрунтям для проведення геологорозвідувальних робіт з виявлення Ni-Cu-Co родовищ в основних породах Коростеньського й Корсунь-Новомиргородського плутонів.

Висновки

1. Для анортозит-рапаківігранітних плутонів характерні комплексні рудні апатит-Fe-Ti, й Cu-Ni-Co родовища, які пов'язані з формуванням базитових фаз, й комплексні родовища Li, Be, Zn, Pb, HFSE, інколи з поліметалами – зі становленням рапаківігранітних асоціацій.
2. Родовища Li, Be, Zn, Pb, HFSE відомі в масивах, або поблизу їх, де в рапаківігранітній асоціації є фази, для яких характерні рівноплечові (або з тенденцією до рівноплечових) діаграми REE.
3. Є підстави для ствердження, що в остаточних фазах розплавів, які утворили анортозит-рапаківігранітні плутони відбувалося накопичення Li, Be, Zn, Pb, HFSE, зокрема, й U й Th. Варіативність фугітивностей H₂O, O₂, F могли впливати на процеси фракціонування хімічних елементів у постмагматичних флюїдах й, відповідно, на характер рудної мінералізації.
4. Анортозит-рапаківігранітні плутони контролюють відповідні родовища в розсиписах, які утворилися з деструкованої матерії цих магматитів.

Література

1. Верховцев В. Г., Покалюк В. В., Ярошук М. О. та ін. Металогенія урану, торію і супутніх елементів в геологічних структурах України // ПП «Видавництво “Фенікс”», 2023. 459 с.
2. Заяць О. В. Геохімія русько-полянських рідкіснометалевих гранітоїдів Корсунь-Новомиргородського плутону. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата геологічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 04.00.02 «Геохімія». – Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П.Семененка НАН України, Київ, 2017. 192 с.
3. Ларин А. М. Граниты рапакиви и ассоциирующие породы // СПб: Наука, 2011. 402 с.
4. Naapala I. Metallogeny of the Rapakivi Granites // Mineral. Petrol. 1995. V. 54. Pp. 149-160.