

УДК 551; 552; 553.2

О. Грінченко, канд. геол.-мінералог. наук, доц.
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна
E-mail: alexgrin@univ.kiev.ua

С. Бондаренко, канд. геол. наук, ст. наук. співроб.
Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення НАН України
пр. акад. Палладіна, 34, м. Київ-142, 03680, Україна
E-mail: sbond@igmof.gov.ua

В. Сидорчук, асп.
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна
E-mail: sydvit@gmail.com

Та-Nb МІНЕРАЛІЗАЦІЯ У РІДКІСНОМЕТАЛЬНИХ ПЕГМАТИТАХ СВІТУ ТА УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол. наук, доц. С.Є. Шнюковим)

Розглядаються особливості формування проявів Та-Nb мінералізації рідкіснометальних пегматитів світу та Українського щита. Рідкіснометальні пегматити світу з проявами Та-Nb мінералізації характеризуються значним різноманіттям мінералогічних та геохімічних особливостей, внутрішньої будови та петрогенезису. В той же час, нами було встановлено, що типоморфні асоціації рудних мінералів рідкіснометальних пегматитів та Nb/Ta відношення у рудах відображають певний тип гранітоїдів, по яких вони формуються, – граніти S, I та A типу. Серед рідкіснометальних пегматитів виділяються два сімейства. Пегматити LCT-сімейства, які характеризуються збагаченням на літій, цезій і тантал (Nb/Ta = 0,2-2) та формуються переважно по "седиментогенних" гранітоїдах S-типу, та пегматити NYF-сімейства, які характеризуються збагаченням на ніобій (Nb/Ta = 5-10), ітрій та фтор й асоціюють, головним чином, з анорогенними гранітоїдами A-типу. Вважається, що саме присутність флюсуючих компонентів (B, P, F) у материнських джерелах гранітів S-типу та A-типу (на відміну від гранітів I-типу) робить їх найбільш здатними до формування пегматитових розплавів.

У металогенічному аспекті, в західній частині Українського щита можуть бути виділені дві контрастні провінції – Волинська (Волинський мегаблок) та Центральна (Інгульський мегаблок) – поширення полів рідкіснометальних гранітів та пегматитів. У Волинському мегаблоці концентрації рідкісних металів були встановлені в метасоматично змінених лужних гранітах Поліського орогенного поясу, у межах якого поширені граніти I-типу (осницький комплекс) та A-типу (пержанський комплекс). Типоморфними особливостями колумбітів є значення співвідношення Ta/Nb, яке змінюється в діапазоні від 1/10 до 1/15, та Fe/Mn, яке сягає 1/10, а також низькі концентрації елементів-домішок у складі тантало-ніобатів.

Центральна провінція поширення гранітів та асоційованих рідкіснометальних пегматитів характеризується переважним поширенням гранітоїдних утворень S-типу (кіровоградський комплекс). Значення співвідношення Ta/Nb у рідкіснометальних рудопроявах, приурочених до гранітів S-типу, змінюються в межах 1-1,5. Мінеральний та хімічний склад тітанотантало-ніобатів є достатньо складним – у межах одного мінерального агрегату встановлюються фази з широкими діапазонами вмісту Ta та Nb. Колумбіт-танталіти характеризуються переважанням залізистих різновидів (FeO/MnO = 2,80-6,56) та високими концентраціями елементів-домішок.

Типоморфні особливості тантало-ніобатів можуть бути використані для встановлення можливого зв'язку проявів рідкіснометальної мінералізації з генетичними типами материнських гранітів.

Ключові слова: граніти, пегматити, Та-Nb мінералізація.

Вступ. На сучасному рівні більшість рідкіснометальних елементів розглядаються як стратегічні компоненти, що є винятково важливими для економічного розвитку та підтримки обороноздатності будь-якої країни. Перелік потреб у цих компонентах може змінюватися залежно від ступеня економічного розвитку кожної країни, але загалом включає такі елементи, як Li, Ta, Nb, Be, Sb, REE та інші. Використання стратегічних металів не є широко відомим, але саме ці елементи відіграють життєво важливу роль у підтримці сталого розвитку сучасного суспільства.

Виклад основного матеріалу. Рідкіснометальні гранітні пегматити світу з проявами Та-Nb мінералізації характеризуються значним різноманіттям мінералогічних та геохімічних особливостей, внутрішньої будови та петрогенезису [10, 11]. Так, за результатами раніше проведених досліджень серед родовищ рідкіснометальних пегматитів світу було виділено декілька промислових типів – пегматити комплексного типу (Танко, Канада; Грінбушес, Австралія; Бікіта, Зімбабве), пегматити альбітового типу (Водгіна, Австралія) та пегматити альбіт-сподуменового типу (Маунт Касситерит, Австралія) [12].

Незважаючи на наявність геохімічної близькості та практично необмеженого ізоморфізму між ніобієм та танталом, рудні концентрації цих елементів формуються досить часто в різних геологічних умовах. Ніобій домінує (Nb/Ta > 10) в лужних асоціаціях та карбонатитових комплексах (Nb/Ta > 100), де він переважно структурно розміщується в кристалічних ґратках титановмісних силікатів та частково в Ti-Fe оксидах. В особливо багатих рудах

значення вмісту ніобію може сягати 1%. У свою чергу, тантал, маючи кларкові значення у $(1,5-2,5) \cdot 10^{-3}\%$, проявляє переважну схильність до накопичення (до 0,05%) в гранітних рідкіснометальних пегматитах. Серед мінеральних типів "колтанових" (колумбіт-танталітових), танталових та ніобій-танталових руд, що поширені серед рідкіснометальних пегматитів, переважають такі типи: колумбіт-танталітові, танталітові, уджиніт-танталіт-іксіолітові, танталіт-мікролітові відміни, які є характерними для танталоносних (Nb/Ta до 0,2-2) літійових пегматитів, а також мікроліт-колумбіт-танталітові, колумбіт-танталіт-ільменорутит-стрюверітові відміни в танталоносних гранітах (Nb/Ta до 1-2).

Для багатьох пегматитових родовищ світу спостерігаються високі значення Nb/Ta відношення, що залежить від умов формування материнських гранітів. Генетичний зв'язок Nb-Ta мінералізації з вміщувачами їх товщами є важливим фактором в оцінці потенційної рудоносності асоційованих з ними рідкіснометальних пегматитів. Було встановлено, що склад пегматитів та Nb/Ta відношення у рудах відображають певний тип гранітоїдів, з якими вони асоційовані – граніти S, I та A типу [13, 14]. У свою чергу, серед рідкіснометальних пегматитів виділяються два сімейства. Пегматити LCT-сімейства, які збагачені на літій, цезій і тантал (Nb/Ta = 0,2-2) та формуються переважно по "осадових" гранітоїдах S-типу. Пегматити NYF-сімейства характеризуються збагаченням на ніобій (Nb/Ta = 5-10), ітрій та фтор та асоціюють, головним чином, з анорогенними гранітоїдами A-типу, геодинамічні умови формування

яких зазвичай пов'язують з обстановками гарячих точок (мантіїних плюмів) або зон розтягу (рифтів) у межах континентів [9]. Граніти І-типу, які переважно формуються по вивержених породах основного складу, характеризуються поширенням проявів мінералізації кольорових металів. Ці гранітоїди можуть генерувати великі обсяги кварцових жил, але не формують значні за розмірами пегматитові поля. Загалом вважається, що метаморфзовані осадові відклади, при ультраметаморфічному перетворенні яких формуються граніти S-типу, є особливо схильними до генерації пегматитових розплавів. Саме присутність флюсуючих компонентів (В, Р, F) у материнських джерелах генерації гранітів S-типу (на відміну від гранітів І-типу) робить їх найбільш сприятливими для формування пегматит-генеруючих розплавів.

Особливо важливу роль серед промислових рідкіснометальних пегматитів світу відіграють саме пегматити LCT-сімейства (до 90% родовищ світу), які формуються по "седиментогенних" гранітоїдах S-типу [12]. Саме цей тип пегматитів містить надзвичайно високі концентрації Rb, Cs, Be, Ta, Nb і Sn, так само, як і підвищені рівні флюсуючих компонентів (В, Р, F). Так наприклад, комплексне пегматитове родовище Танко (Канада) характеризується суттєвими значеннями вмісту рудних компонентів (г/т) – до 13900 Li, 236000 Cs, 28900 Rb, понад 360 Be та 1200 Ta. Коефіцієнти збагачення деяких елементів можуть сягати значень, більш ніж у 100000, порівняно з їхніми валовими концентраціями у континентальній корі (16 г/т Li, 2 г/т Cs, 49 г/т Rb, 1,9 г/т Be, 1,7 г/т Ta [17]).

Результати вивчення відомих світових родовищ вказують на те, що ступінь диференціації пегматитів може суттєво впливати на просторове розміщення проявів рідкіснометальної мінералізації в межах самих пегматитових тіл. Так наприклад, в гігантському пегматитовому родовищі Грінбушес (Австралія) танталова мінералізація проявлена в місцях, які за своїм розташуванням відокремлені від проявів Li мінералізації. Найкращим вивченим прикладом рідкіснометальних пегматитів LCT-сімейства вважається пегматитове родовище Танко (Канада), в межах якого було встановлено до дев'яти рудно-мінералогічних зон, з яких видобувалися певні корисні копалини [10-12]. Видобуток літію здійснювався переважно з Верхньої проміжної зони, видобуток цезію із зони поширення поллукиту, а видобуток танталу – переважно з апліт-альбітової зони. Ці факти розглядаються як прояв різного характеру поведінки несумісних рідкіснометальних елементів (елементи групи HFSE та LILE) та існування різних факторів контролю рідкіснометальної мінералізації, Ta та Li зокрема.

Більшість корисних компонентів рідкіснометальних пегматитів відносяться до несумісних елементів, які показують тенденцію щодо невходження до структури більшості породоутворюючих мінералів та їх накопичення на найбільш пізніх стадіях еволюції гранітоїдних систем. Проте поведінка певних несумісних елементів може суттєво різнитися. Загалом, несумісні елементи можуть бути розподілені на дві групи – крупно-іонних літофільних елементів (елементи LILE – *large ion lithophile elements*) та високозарядних елементів (елементи HFSE – *high field strength elements*). Li, Rb та Cs відносяться до елементів групи LILE, іони яких є більшими за розмірами будь-яких катіонів більшості породоутворюючих мінералів. Вони є несумісними літофільними елементами, які зазвичай мають тенденцію до накопичення на пізніх стадіях еволюції гранітоїдних систем. Елементи групи LILE розглядаються як найбільш чутливі до прояву накладених процесів постмагматичних змін. Корисною ознакою значних за розмірами та

диференційованих пегматитів LCT типу є те, що породи, які вміщують пегматитові тіла, інтенсивно метасоматизовані. Саме явище розсіювання лужних елементів у метасоматичних ореолах навколо пегматитів використовується як важливий критерій їх пошуків. Літій формує найширші ореоли розсіювання навколо пегматитів, розміри яких можуть перевищувати відстані у понад 100 м, у той самий час, як масштаб розсіювання Rb і Cs є більш обмеженим. Біотит є найбільш типовим метасоматичним мінералом, який зустрічається у вміщуючих породах пегматитів. У структурі біотиту Li може ізоморфно заміщувати Mg, а Rb та Cs – K, саме формування "метасоматичного" біотиту відповідає за формування значних за розмірами ореолів розсіювання Li-Rb-Cs мінералізації навколо пегматитів LCT-сімейства [16].

На відміну від цього, несумісні елементи Ta і Nb відносяться до групи високозарядних елементів (HFSE), для яких характерні високі значення відношення заряду до радіусу іону, а характер їхньої поведінки загалом відрізняється від поведінки Li, Rb і Cs. Елементи групи HFSE зазвичай є не мобільними – тобто, вони є переважно стійкими до процесів метаморфічних перетворень і накладених метасоматичних змін. Хоча тантал і ніобій є вельми несумісними для головних породоутворюючих мінералів (кварцу та польових шпатів), проте вони характеризуються тенденцією щодо накопичення у мусковіті та у Ti-вміщуючих мінеральних фазах, особливо – рутилі та сфені [15].

У той же час, процеси, які відповідають за формування промислових проявів Ta-Nb мінералізації, залишаються остаточно не з'ясованими. Загалом існують дві протилежні точки зору – безпосередньої кристалізації рудних мінералів Nb та Ta з розплаву та їх формування за рахунок вторинних змін при суттєвій ролі процесів гідротермально-метасоматичних перетворень. Такі характерні ознаки, як (1) низькі значення розчинності оксидів Nb та Ta у водних флюїдах, (2) мінералогічно-структурні явища тісного проростання первинно магматичних мінералів (циркону та апатиту) з тантало-ніобатами та (3) виключна роль летких компонентів (В, Р, F та, навіть, Li), які збільшують ступінь розчинності тантало-ніобатів у пегматитовому розплаві, – схильють переважну більшість дослідників до визнання ідеї магматогенного походження більшості Ta-Nb різновидів [8]. Проте, хоча постмагматичні процеси й не відіграють ключову роль у формуванні проявів Ta та Nb мінералізації, припускається, що саме вони можуть бути важливими факторами контролю просторового розташування й перерозподілу рудної мінералізації – при можливих процесах привнесення двовалентних катіонів Fe, Mn і Ca, які є складовими компонентами рудних мінералів групи колумбіт-танталіту, водгініту та мікроліту [18].

Рідкіснометальні пегматити Українського щита. Прояви Ta-Nb мінералізації, асоційованої з рідкіснометальними пегматитами, були встановлені в межах трьох мегаблоків Українського щита – Волинського, Приазовського та Інгільського [4].

У Волинському мегаблоці раніше було виділено чотири поля поширення рідкіснометальних пегматитів (Папірнянське, Городське, Товстовське і Кочерівське), які просторо розташовані в межах Кочерівського синклінію. Вважається, що рідкіснометальні пегматити даного регіону асоційовані з гранітами бистріївського типу (житомирський комплекс). Поширення в межах синклінію метаосадових утворень (високоглиноземисті гнейси та інші), рідкіснометальна геохімічна спеціалізація бистріївських гранітів (граніти S-типу) та присутність у пегматитах кварц-мусковітової асоціації можуть розглядатися як фактори, сприятливі для формування

проявів тантало-ніобатів, що підтверджується значною кількістю геохімічних аномалій, встановлених у межах цього регіону.

У Приазовському мегаблоці прояви тантал-ніобієвої мінералізації були встановлені в межах Сорокинської зеленокам'яної структури (родовище Балка Крута) та Єлисеївського поля диференційованих пегматитів, просторово приурочених до Салтичанського граніто-гнейсового куполу.

Мікроклін-альбітові, альбітові й альбіт-сподуменові пегматити родовища Балка Крута характеризуються зональною будовою у великих тілах пегматитів. Рудні мінерали представлені колумбіт-танталітом, цирколітом, монацитом й ксенотимом. Слюдиисто(мусковіт)-керамічні пегматити збагачені шерлом, тоді як з рідкіснометалевими мінералами асоціюють зелений і поліхромний турмаліни, блакитнувато-зелений апатит, магнезіально-залізіста слюда з рідкісними лугами (Li, Rb, Cs) і Li-амфібол [4]. Суттєвий ступінь диференціації пегматитових утворень обумовив формування проявів рідкіснометалевої мінералізації з формуванням геологічних об'єктів промислового значення (родовище Єлисеївське).

Інгульський мегаблок. На сьогодні серед рудоносних структур Українського щита Шполянсько-Ташлицький рудний район розглядається як найбільш перспективний з точки зору можливостей виявлення промислових концентрацій танталу і ніобію. Район розташований у північно-західній частині Інгульського мегаблоку, в геологічній будові якого переважають ультраметаморфічні граніти кіровоградського комплексу та метаморфічні утворення інгуло-інгулецької серії. Головною тектонічною структурою, яка контролює рідкіснометалеве зрудення, є Звенигородсько-Ганнівська розломна зона. При проведенні металогенічних побудов у межах рудного району можуть бути виділені два поля поширення проявів рідкіснометалевої мінералізації (Li, Rb, Cs, Be, Ta, Nb, Sn) – Полохівське та Станкуватське. Родовища та численні рудопрояви рідкісних металів району формувалися в досить схожих геолого-тектонічних умовах і мають багато спільних рис – як у речовинному складі вміщуючих порід, так і в мінералогічному складі рудної мінералізації. В той же час, сама Ta-Nb мінералізація проявлена досить нерівномірно й утворює рудні концентрації лише на деяких ділянках окремих родовищ літію, та формує власні рудопрояви. За результатами картування рудних мінеральних асоціацій на рудних об'єктах, не виключається можливість існування певної рудної зональності в пегматитах – у центральних частинах формується петалітова або петаліт-сподуменова мінералізація, а в зонах викинування пегматитових тіл відбувалася концентрація тітано-тантало-ніобатів.

Полохівське рудне поле, окрім однойменного родовища літію, включає рудопрояви Мостовий та декілька дрібніших рудоносних об'єктів (Копанки, Вись, Ярошівка), у межах яких поширена, головним чином, Ta-Nb мінералізація. Рудні об'єкти Станкуватського рудного поля (Липнязький, Новоодеський рудопрояви, родовища літію: Станкуватське, Надія) просторово тяжіють до західного, північно-західного екзоконтакту Липнязького гранітоїдного масиву та Михайлівської тектонічної зони, яка, в свою чергу, розглядається як один із розгалужених фрагментів згаданої вище Звенигородсько-Ганнівської розломної структури. Найбільш багата Ta-Nb мінералізація приурочена до жил альбіт-мікроклінових метасоматитів і метасоматично змінених пегматоїдних гранітів.

Накопичення достатньої кількості даних щодо особливостей прояву рудної мінералізації тантало-ніобатів у межах Західної частини Українського щита вказує на наявність характерних ознак типомімізму рудних міне-

ралів, які прослідковуються як у межах окремих рудних тіл, так і на регіональному масштабі в цілому. Так наприклад, у металогенічному аспекті, в західній частині Українського щита можуть бути виділені дві контрастні провінції – Волинська (Волинський мегаблок) та Центральна (Інгульський мегаблок) – поширення полів рідкіснометалевих гранітів і пегматитів, геохімічно спеціалізованих на Li, Rb, Cs, Ta, Nb, Sn, Be. У Волинському мегаблоці, який розглядається деякими дослідниками як зона тектоно-магматичної активізації, сформована внаслідок колізії Фенноскандинавського й Сарматського сегментів Східно-Європейської платформи [19], суттєві концентрації рідкісних металів були встановлені в метасоматично змінених лужних гранітах Поліського орогенного поясу [2]. Вік поширених у межах поясу гранітів I-типу (осницький комплекс) та A-типу (пержанський комплекс) і накладених на них процесів грейзенізації, альбітизації й окварцювання змінюється в інтервалі часу від 2000 до 1730 млн р. Самі ж граніти характеризуються підвищеними концентраціями фтору й широкою присутністю магнетиту серед асоціацій рудних мінералів. У межах регіону було виявлено численні прояви колумбіт-танталової мінералізації, серед типоморфних особливостей якої є відношення Ta/Nb, що змінюється в діапазоні від 1/10 до 1/15, та Fe/Mn, яке сягає 1/10, а також майже постійна відсутність будь-яких елементів-домішок у хімічному складі тантало-ніобатів (таких, як W, Ti, Sn, що є характерною ознакою проявів мінералізації Центральної провінції). В самих колумбіт-танталітових агрегатах спостерігається відсутність будь-якої вираженої внутрішньої зональності та неоднорідності (мозаїчності) структур.

Центральна провінція гранітів та асоційованих рідкіснометалевих пегматитів просторово розміщується в межах західної частини Інгульського мегаблоку (Братський синклінорій) і, як вважається деякими дослідниками, геодинамічно пов'язана з формуванням Кіровоградського орогенного поясу [3]. У межах Братського синклінорію породи, які містять Ta-Nb зруденіння, представлені, переважно, "осадовими" гранітами S-типу, збагаченими на калій, пересиченими глиноземом з низькими значеннями вмісту слюдистих відмін (мусковіту) та фтору. Граніти S-типу даного регіону характеризуються переважною присутністю серед рудних асоціацій ільменіту (на відміну від I-гранітів, для яких характерний магнетит). Цей факт може вказувати на загальне панування відновних умов у місцях генерації гранітної магми, що, у свою чергу, може бути обумовлене первинним збагаченням метаморфізованих осадових товщ на вуглецеву речовину (графіт, антроксоліт), присутність якої постійно відмічається у гнейсових товщах Братського синклінорію [6]. Зазвичай значення співвідношення Ta/Nb у рідкіснометалевих рудопроявах регіону, приурочених до гранітів S-типу, змінюються в межах 1-1,5. Мінеральний та хімічний склад проявів рудної мінералізації тітано-тантало-ніобатів є достатньо складним. Це може бути обумовлено схильністю Nb та Ta до утворення широкого діапазону мінеральних фаз, які входять до серії твердих розчинів, та додаткової здатності мінералів групи колумбіт-танталіту $(\text{Fe,Mn})(\text{Nb,Ta,Ti})_2\text{O}_5$ та ільменорутил-стрювериту $(\text{Ti,Nb,Ta})\text{O}_2$ утримувати у своєму складі широкий діапазон елементів-домішок. У той же час, тантало-ніобати за своєю поширеністю в рудах часто поступаються мінералам групи ільменорутил-стрювериту. Мінерали групи колумбіт-танталіту, в переважній своїй більшості, відрізняються неоднорідною внутрішньою будовою – наявною зональністю та мозаїчністю структур. У межах одного складного агрегату встановлюються фази з широкими діапазонами

вмісту Ta_2O_5 – від 9,80 до 71,0% та Nb_2O_5 – від 10,6 до 70,1%. Аналітичні дані свідчать про переважання залізистих різновидів ($\text{FeO}/\text{MnO} = 2,80\text{--}6,56$, середні значення), а самі колумбіт-танталіти характеризуються високими концентраціями елементів-домішок (%): TiO_2 – до 5,88, WO_3 – до 3,70, SnO_2 – до 9,20, Sc_2O_3 – 5,40. Поведінка мінералів групи ільменорутит-стріверіту є багато в чому подібною. За даними мікрозондового аналізу, в складі мінералів групи переважають домішки SnO_2 – до 3,1% та V_2O_5 – до 5,05%. У той же час, окрім зазначених вище мінералів рідкіснометальні пегматити Центральноукраїнської провінції характеризуються присутністю інших мінеральних фаз – тапіоліту FeTa_2O_6 , іксіоліту $(\text{Nb}, \text{Ta}, \text{Sn}, \text{Fe}, \text{Mn}, \text{Ti})_4\text{O}_8$, мінералів групи пірохлору (мікроліт $(\text{Ca}, \text{Na})_2\text{Ta}_2\text{O}_6(\text{O}, \text{V}, \text{OH}, \text{F})$). Супутні рудні мінерали представлені касітеритом, нігеритом, ганітом, уранінітом, хризобериллом, станіном, сфалеритом та халькопіритом.

Протягом довгого часу вік прояву рідкіснометальної мінералізації Центральноукраїнської металогенічної провінції вважався дискусійним. Певний період у металогенічних побудовах фігурувала гіпотетична дата у 2,3 млрд р, отримана із результатами термодинамічного Pb-Pb методу датування [5]. Інші дослідники вважали, що час формування рудної мінералізації слід синхронізувати з процесами укорінення Корсунь-Новомиргородського анортозит-рапаківігранітного масиву [1]. Нам вперше вдалося встановити вік формування Ta-Nb мінералізації шляхом безпосереднього датування тантало-ніобатів із визначенням співвідношень $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ – $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ та визначення абсолютного віку "ізохронним" методом. Незважаючи на той факт, що гранітні пегматити могли зазнавати інтенсивних процесів динамо-метаморфічного та автометасоматичного перетворення [6], було надійно встановлено, що вік формування Ta-Nb мінералізації не перевищує вікову межу у 2,0 млрд р.

Висновки. Виходячи з наведеного вище, можна зробити висновки про те, що характерні особливості формування проявів Nb-Ta мінералізації в гранітах та асоційованих з ними рідкіснометальних пегматитах світу та Українського щита є достатньо подібними. В той же час, рудно-мінералогічний склад пегматитів та значення Nb/Ta співвідношення "колтанових" руд відображають певний генетичний тип гранітоїдів (граніти S, I та A типу), з якими вони асоційовані. Найбільш високі концентрації танталових руд спостерігаються саме серед "седиментогенних" гранітів S-типу. Головні типоморфні особливості тантало-ніобатів, серед яких можна виділити такі, як присутність певних асоціацій рудних мінералів, значення співвідношення Ta/Nb та наявність/відсутність характерних елементів-домішок, вказують на просторовий та генетичний зв'язок рідкіснометальних пегматитів з певними генетичними типами материнських гранітів. Цей факт може бути використаний для подальшої оптимізації геолого-пошукових робіт, спрямованих на виявлення додаткових ресурсів рідкіснометальної сировини, стратегічно важливої як для більшості країн світу, так і України зокрема.

Список використаних джерел

- Безвинний В. П. Рідкіснометальне та золоте зруденіння і метасоматичні процеси Петроострівського рудного поля / В. П. Безвинний // Збірник наукових праць УкрДГРІ. – 2005. – № 1. – С. 82–84.
- Бухарев В. П. Полесский орогенный пояс – автономная региональная структура в фундаменте Восточно-Европейской платформы / В. П. Бухарев // Геологический журнал. – 1988. – № 3. – С. 99–105.
- Кіровоградський орогенний пояс. Будова та еволюція / В. М. Ключков, Ю. К. Пійяр, О. М. Шевченко і др. // Мінеральні ресурси України. – 2006. – № 2. – С. 18–22.
- Металлические и неметаллические полезные ископаемые Украины [Текст]. Т. 1. Металлические полезные ископаемые / Д. С. Гурский, К. Е.

Есипчук, В. И. Калинин и др. – Киев-Львов: Изд-во "Центр Европы", 2005. – 783 с.

5. Минералогические особенности и условия образования литиевых пегматитов Кировоградского блока (Украинский щит) / Г. К. Еременко, Б. Н. Иванов, Н. А. и др. // Минералогический журнал. – 1996. – Т. 18, № 1. – С. 48–57.

6. Основні типи рідкіснометальних родовищ і рудопроявів західної частини Кіровоградського блоку / Б. Н. Иванов, О. Ф. Маківчук, В. М. Бугаєнко та ін. // Збірник наукових праць УкрДГРІ. – 2002. – № 1–2. – С. 101–107.

7. Щербаків І. Б. Петрологія Українського щита / І. Б. Щербаків. – Львов: ЗУКЦ, 2005. – 366 с.

8. Bartels A. Solubility of manganotantalite and manganocolumbite in pegmatitic melts. / A. Bartels, F. Holtz, R. L. Linnen // American Mineralogist. – 2010. – Vol. 95. – P. 537–544.

9. Bonin B. A-type granites and related rocks: Evolution of a concept, problems and prospects / B. Bonin // Lithos. – 2007. – Vol. 97. – P. 1–29.

10. Cerny P. Rare-element granitic pegmatites. Part I: anatomy and internal evolution of pegmatite deposits / P. Cerny // Geoscience Canada. – 1989. – Vol. 18, № 2. – P. 49–67.

11. Cerny P. Rare-element granitic pegmatites. Part II: regional to global environments and petrogenesis / P. Cerny // Geoscience Canada. – 1989. – Vol. 18, № 2. – P. 68–81.

12. Cerny P. The classification of granitic pegmatites revisited / P. Cerny, T. S. Ercit // Canadian Mineralogist. – 2005. – Vol. 43. – P. 2005–2026.

13. Chappell B. W. Two contrasting granite types: 25 years later / B. W. Chappell, A. J. R. White // Australian Journal of Earth Sciences. – 2001. – Vol. 48. – P. 489–499.

14. Eby G. N. A-type granitoids: A review of their occurrence and chemical characteristics and speculations on their petrogenesis. / G. N. Eby // Lithos. – 1990. – Vol. 26. – P. 115–134.

15. Linnen R. L. The solubility of Nb-Ta-Zr-Hf-W in granitic melts with Li and F: Constraints for mineralization in rare metal granites and pegmatites / R. L. Linnen // Economic Geology. – 1998. – Vol. 93. – P. 1013–1025.

16. London D. Pegmatites / D. London. – Canadian Mineralogist Special Publication 10, 2008. – 347 p.

17. Rudnick R. L. Composition of continental crust / R. L. Rudnick, S. Gao; Ed by R. L. Rudnick // Treatise on Geochemistry. – 2004. – Vol. 3. – P. 1–64.

18. Textural features and chemical evolution in tantalum oxides: Magmatic versus hydrothermal origins for Ta mineralization in the Tanco Lower Pegmatite, Manitoba, Canada / M. Van Lichtervelde, S. Salvi, D. Beziat, R. L. Linnen // Economic Geology. – 2007. – Vol. 102. – P. 257–276.

19. The East European Craton (Baltica) before and during the assembly of Rodinia / S. V. Bogdanova, B. Bingen, R. Gorbatshev et al. // Precambrian Research. – 2008. – Vol. 160. – P. 23–45.

References

- Bezvinnyy, V.P. (2005). Rare-metal and gold mineralization and metasomatic processes of Petroostrov ore field. Scientific proceedings of UkrSGRI, 1, 82–84. [in Ukrainian].
- Bucharev, V.P. (1988). Polesky orogenic belt – separate regional structure in the basement of East European platform. Geological Journal, 3, 99–105. [in Russian].
- Klochkov, V.M., Piyar, Yu.K., Shevchenko, O.M., Klochkov, S.V., Pylypchuk, O.M. (2006). Kirovogradsky orogenic belt. Structure and evolution. Mineral resources of Ukraine, 2, 18–22. [in Ukrainian].
- Gursky, D.S., Esipchuk K.E., Kalinin V.I., Kulish E.A., Nechaev S.V. et al. (2005). Metallic and non-metallic useful minerals of Ukraine. Vol. 1. Metallic usefull minerals. Kyiv-Lviv: Publishing house "Center of Europe", 783 p. [in Russian].
- Eremenko, G.K., Ivanov, B.N., Belych, N.A., Kuzmenko, A.V., Makivchuk, O.F. (1996). Mineralogical features and conditions of formation of lithium pegmatites of the Kirovograd block (Ukrainian Shield). Mineralogical Journal, 18(1), 48–57. [in Russian].
- Ivanov, B.N., Makivchuk, O.F., Bugaenko, V.M., Lysenko, V.V., Eremenko, G.K. (2002). Main types of rare-metal deposits and ore manifestations of western part of Kirovograd block. Scientific proceedings of UkrSGRI, 1–2, 101–107. [in Ukrainian].
- Scherbakov, I.B. (2005). Petrology of Ukrainian Shield. Lvov: ZUKC, 366. [in Russian].
- Bartels, A., Holtz, F., Linnen, R.L. (2010). Solubility of manganotantalite and manganocolumbite in pegmatitic melts. American Mineralogist, 95, 537–544.
- Bonin, B. (2007). A-type granites and related rocks: Evolution of a concept, problems and prospects. Lithos, 97, 1–29.
- Cerny, P. (1989a). Rare-element granitic pegmatites. Part I: Anatomy and internal evolution of pegmatite deposits. Geoscience Canada, 18(2), 49–67.
- Cerny, P. (1989b). Rare-element granitic pegmatites. Part II: Regional to global environments and petrogenesis. Geoscience Canada, 18(2), 68–81.
- Cerny, P., Ercit, T.S. (2005). The classification of granitic pegmatites revisited. Canadian Mineralogist, 43, 2005–2026.
- Chappell, B.W., White, A.J.R. (2001). Two contrasting granite types: 25 years later. Australian Journal of Earth Sciences, 48, 489–499.
- Eby, G.N. (1990). A-type granitoids: A review of their occurrence and chemical characteristics and speculations on their petrogenesis. Lithos, 26, 115–134.
- Linnen, R.L. (1998). The solubility of Nb-Ta-Zr-Hf-W in granitic melts with Li and F: Constraints for mineralization in rare metal granites and pegmatites. Economic Geology, 93, 1013–1025.

16. London, D. (2008). Pegmatites. Canadian Mineralogist Special Publication, 10, 347.
17. Rudnick, R.L., Gao, S. (2004). Composition of continental crust. In: Rudnick R.L. (Ed). Treatise on Geochemistry, 3, 1-64.
18. Van Lichtervelde, M., Salvi, S., Beziat, D., Linnen, R.L. (2007). Textural features and chemical evolution in tantalum oxides: Magmatic

versus hydrothermal origins for Ta mineralization in the Tanco Lower Pegmatite, Manitoba, Canada. Economic Geology, 102, 257-276.

19. Bogdanova, S.V., Bingen, B., Gorbatschev, R., Kheraskova, T.N., Kozlov, V.I. et al. (2008). The East European Craton (Baltica) before and during the assembly of Rodinia. *Precambrian Research*, 160, 23-45.

Надійшла до редколегії 03.12.15

O. Grinchenko, Cand. Sci. (Geol.-Min.), Assoc. Prof.,
Institute of Geology, Taras Shevchenko National University of Kyiv
90 Vasylkivska Str., Kyiv, 03022 Ukraine
E-mail: alexgrin@univ.kiev.ua,
S. Bondarenko, Cand. Sci. (Geol.), Senior Researcher
Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation
National Academy of Sciences of Ukraine
34, Acad. Palladina Ave., Kyiv – 142, 03680 Ukraine
E-mail: sbond@igmof.gov.ua,
V. Sydoruk, Postgraduate Student
Institute of Geology, Taras Shevchenko National University of Kyiv
90 Vasylkivska Str., Kyiv, 03022 Ukraine
E-mail: sbond@igmof.gov.ua

Ta-Nb MINERALIZATION IN RARE-METAL PEGMATITES OF THE WORLD AND UKRAINIAN SHIELD

Features of formation of Ta-Nb mineralization in rare-metal pegmatites of the world and Ukrainian Shield are considered. Rare-metal pegmatites of the world with Ta-Nb mineralization are characterised by large variety of mineralogical and geochemical features, internal structure and petrogenesis. At the same time it has been established that typical ore mineral associations of rare-metal pegmatites and Nb/Ta ratio in ores indicate certain type of granitoids on which they are formed – granites of S, I and A type. Among rare-metal pegmatites two families are distinguished. LCT-family pegmatites, which are characterised by enrichment on lithium, caesium and tantalum ($Nb/Ta = 0,2-2$), are formed mainly after n "sedimentogenic" granitoids of S-type. NYF-family pegmatites, which are characterised by enrichment in niobium ($Nb/Ta = 5-10$), yttrium and fluorine, are mainly associate with anorogenic A-type granitoids. It is considered, that presence of fluxing components (B, P, F) in parental sources of S-type and A-type granites (unlike I-type granites) make them to be the most favorable for formation of pegmatitic melts.

As to metallogenic aspect two different provinces – Volynsk (Volynsk megablock) and Central (Ingul megablock) – of distributions of rare-metal granites and pegmatites can be distinguished in western part of the Ukrainian Shield. In the Volynsk megablock of concentration of rare metals have been established in metasomatically altered alkaline granites of Polesky orogenic belt, in which limits I-type granites (осницік комплекс) and A-type (пержанський комплекс) are distributed. Typomorphic features of columbites are represented by values of Ta/Nb ratio which ranges from 1/10 to 1/15 and Fe/Mn one which reaches 1/10 as well as low contents of admixture elements in composition of tantalum-niobates.

The Central province of granites and associates rare-metal pegmatites is characterised by predominant distribution of granitic formations of S-type (Кировоград комплекс). Values of Ta/Nb ratio in rare-metal ore manifestations confined to S-type granites range within 1-1,5. Mineralogical and chemical composition of titanium-tantalum-niobates is complex enough – within one mineral aggregate phases with wide range of Ta and Nb are established. Columbite-tantalites are characterised by predominance of ferruginous varieties ($Fe/Mn = 2,80-6,56$) and high contents of admixture elements.

Typomorphic features of tantalum-niobates can be used for establishing possible relations between manifestations of rare-metal mineralization and genetic types of parental granites.

Keywords: Granites, pegmatites, Ta-Nb mineralization.

А. Гринченко, канд. геол.-минералог. наук, доц.
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко
УНИ "Институт геологии", ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина
E-mail: alexgrin@univ.kiev.ua

С. Бондаренко, канд. геол. наук, ст. науч. сотрудник
Институт геохимии, минералогии и рудообразования НАН Украины
пр. Палладина, 34, г. Киев-142, 03680, Украина
E-mail: sbond@igmof.gov.ua

В. Сидорчук, асп.
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко
УНИ "Институт геологии", ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина
E-mail: sydvit@gmail.com

Ta-Nb МИНЕРАЛИЗАЦИЯ В РЕДКОМЕТАЛЬНЫХ ПЕГМАТИТАХ МИРА И УКРАИНСКОГО ЩИТА

Рассматриваются особенности формирования проявлений Ta-Nb минерализации редкометальных пегматитов мира и Украинского щита. Редкометальные пегматиты мира с проявлениями Ta-Nb минерализации характеризуются значительным многообразием минералогических и геохимических особенностей внутреннего строения и петрогенезиса. В то же время, было установлено, что типоморфные ассоциации рудных минералов редкометальных пегматитов и Nb/Ta отношение в рудах отображают определенный тип гранитоидов, по которым они формируются, – граниты S, I и A типа. Среди редкометальных пегматитов выделяется два семейства. Пегматиты LCT-семейства, которые характеризуются обогащением на литий, цезий и тантал ($Nb/Ta = 0,2-2$) и формируются преимущественно по "седиментогенным" гранитоидам S-типа, и пегматиты NYF-семейства, которые характеризуются обогащением на ниобий ($Nb/Ta = 5-10$), иттрий и фтор и ассоциируют, главным образом, с анорогенными гранитоидами A-типа. Считается, что присутствие флюирующих компонентов (B, P, F) в материнских источниках гранитов S-типа и A-типа (в отличие от гранитов I-типа) делает их наиболее способными для формирования пегматитовых расплавов.

В металлогеническом аспекте в западной части Украинского щита могут быть выделены две контрастных провинции – Волынская (Волынский мегаблок) и Центральная (Игульский мегаблок) – распространения полей редкометальных гранитов и пегматитов. В Волынском мегаблоке концентрации редких металлов были установлены в метасоматически измененных щелочных гранитах Полесского орогенного пояса, в пределах которого распространены граниты I-типа (осницкий комплекс) и A-типа (пержанский комплекс). Типоморфными особенностями колумбитов являются значения отношения Ta/Nb, изменяющиеся в диапазоне от 1/10 до 1/15, и Fe/Mn, достигающее 1/10, а также низкие концентрации элементов-примесей в составе тантало-ниобатов.

Центральная провинция гранитов и ассоциированных редкометальных пегматитов характеризуется преобладающим распространением гранитоидных образований S-типа (кировоградский комплекс). Значение соотношения Ta/Nb в редкометальных рудопроявлениях, приуроченных к гранитам S-типа, изменяется в пределах 1-1,5. Минеральный и химический состав титано-тантало-ниобатов является достаточно сложным – в пределах одного минерального агрегата устанавливаются фазы с широкими диапазонами содержания Ta и Nb. Колумбит-танталиты характеризуются преобладанием железистых разновидностей ($Fe/Mn = 2,80-6,56$) и высокими концентрациями элементов-примесей.

Типоморфные особенности тантало-ниобатов могут быть использованы для установления возможной связи проявлений редкометальной минерализации с генетическими типами материнских гранитов.

Ключевые слова: граниты, пегматиты, Ta-Nb минерализация.