

УДК 552.4 (477.7)

Моргун В.Г.

ПЕТРОГЕНЕЗИС ФЕНІТІВ СХІДНОГО ПРИАЗОВ'Я

Наведені результати дослідження лужних метасоматитів УЩ та аналіз подібних порід інших регіонів. Зроблений висновок, що лужний метасоматоз найбільш активно проявлений у кварц-вмісних породах (гранітоїдах, кварцитах), безкварцові породи основного (габброїди, амфіболіти, кристалічні сланці) та ультраосновного складу, а також кальцифіри, мергелі слабо піддаються олугуванню (фенітизації). Розглянуті процеси заміщення первинних мінералів при фенітизації, мінеральний склад продуктів метасоматозу.

Досліджувались лужні метасоматити Східного Приазов'я, виявлені в межах Кальміус-Сланчицького масиву та поблизу Октябрського, Південно-Кальчицького масивів. Вони розглядаються як тріщинні утворення або як феніти. Результати виконаних протягом останніх років петрографічних і геохімічних досліджень, хімічних і мікрозондових аналізів мінералів, гірських порід і визначення їх ізотопного складу (С, О, Sr) підтверджують висновок про їх належність до фенітів [5, 8, 9, 15, 18, 21, 22]. Хоч останні мають низку особливостей і думка про належність лужних метасоматитів Східного Приазов'я до фенітів має супротивників, доцільність їх вважати такими підтверджується багатьма фактами, частина з яких викладена в цій статті.

Термін «феніт» був запропонований В.Бреггером в 1921 р., означав породу, яка утворилась у процесі реагування лужних магм, переважно, ійоліт-мельтейгітового складу та вмісних гранітоїдів з утворенням проміжних продуктів сієнітового складу [21]. Пізніше Г.Екерман [22] стверджував, що утворення фенітів може бути зумовленим тільки реакцією карбонатитових магм з вмісними гранітоїдами; всі інші лужні силікатні породи – якупірангіт-уртитова серія, нефелінові та лужні сіє-

ніти – розглядались як продукти реакції лужної, дуже реактивної карбонатитової магми з оточуючими гранітоїдами. Пізніше дослідження показали, що феніти утворюються в екзоконтактах масивів практично всіх порід лужно-ультраосновної (карбонатитової) формації, очевидно, незалежно від їх складу. А.С.Сергеев [18] доводив, що в ореолах усіх порід карбонатитових (лужно-ультраосновних) комплексів, незалежно від їх складу (олівініти, перидотити, піроксеніти, якупірангіти, ійоліт-мельтейгіти, нефелінові та лужні сієніти), присутні феніти сієнітового складу.

Деякі дослідники вважають, що в фенітах можуть бути нефелінові парагенезиси [17] (якупірангіти, ійоліт-мельтейгіти, нефелінові та лужні сієніти). Наші дані про лужні комплекси УЩ та результати аналізу літературних даних можуть свідчити про те, що процес фенітизації завершується власне сієнітовими парагенезисами. Тобто нефелінові та карбонатитові породи «відгороджуються» від кварц-вмісних порід (гранітоїди, кварцити, пісковики) суттєво лужнопольовошпатовими фенітами. Останні можуть розглядатися як термічний «польовошпатовий» бар'єр між гранітною та фонолітовою магмою.

Схоже на те, що УЩ є найбагатшим або одним з найбагатших регіонів на докембрійські лужні метасоматити порівняно з іншими докембрійськими щитами.

Переважає більшість названих метасоматитів формувалась по різних первинних породах гранітоїдного складу (граніти, гнейси, мігматити), оскільки вони найбільш поширені в межах докембрійських щитів. Значна частина лужних метасоматитів утворилась по залізистих кварцитах (залізисто-кремниста формація), рідше лужного метасоматозу зазнавали породи основного складу (амфіболіти, дайки основних порід); у поодиноких випадках – майже чисто кварцові породи. В межах інших докембрійських щитів (наприклад Балтійський) і платформ (Сибірська платформа, Меймеча-Котуйська карбонатитова провінція) фенітизації зазнали пісковики, кварцито-пісковики, аргіліти.

Результати дослідження лужних метасоматитів УЩ та подібних утворень інших регіонів дозволяє зробити висновок, що найбільш «вразливими» до лужного метасоматозу є кварцвмісні породи, серед яких найбільш поширені гранітоїди та кварцити. Безкварцові породи основного (габроїди, амфіболіти, кристалічні сланці) та ультраосновного складу, а також кальцифіри, мергелі слабо піддаються олугуванню (фенітизації). В деяких випадках (наприклад, в екзоконтактах карбонатитових жил, розкритих у Хлібодарівському кар'єрі) вдавалося спостерігати таку картину: карбонатитова жила, яка залягає серед ендербітів, супроводжується екзоконтактовим фенітовим ореолом, потужність якого приблизно така ж, як і самої жили (до 30 см). Якщо ж ця жила перетинає ксеноліт двопіроксенового кристалічного сланцю (які є характерними для багатьох чарнокітоїдів), на контакті цих порід простежується тільки тоненька (біля 1-2 мм) смужка вторинних мінералів (слюди, амфіболи, альбіт). Перетнувши ксеноліт і перейшовши до ендербіту, карбонатитова жила знову супроводжується ореолом феніту, який складається зі змінної кількості альбіту, мікрокліну, егірину, лужного амфіболу рибекіт-арфведсонітового ряду. Подібні спостереження, тільки в значно більших масштабах описані для екзоконтактових ореолів Чернігівського карбонатитового

комплексу, де амфіболіти дуже слабо порівняно з гранітоїдами піддавались фенітизації [3]. В деяких випадках (Орлівська ділянка) базити в процесі фенітизації були перетворені на істотно біотитові породи (з альбітом, калієвим польовим шпатом, сфеном) з підвищеним вмістом циркону [8, 9].

Переважає приуроченість лужних метасоматитів до кварцвмісних порід пояснюється з точки зору балансу речовини тим, що для утворення альбіту та мікрокліну в процесі олугування (фенітизації) гранітоїдів необхідна додаткова кількість SiO_2 , щоб вони замінили плагіоклаз та біотит, як це звичайно спостерігається в шліфах. Новоутворення лужних піроксенів та амфіболів відбувається за рахунок біотиту, рогової обманки або інколи гранату вихідних порід. Тому перші ознаки фенітизації проявляються навколо індивідів кварцу, які починають оточуватись виділеннями альбіту на їх контактах з кристалами плагіоклазу, а на контактах з кристалами біотиту – складними зональними облямітками: до кристалів кварцу прилягає облямітка (зона) дрібних виділень зеленого (егірин-вмісного) піроксену, а між цією піроксеновою зоною і заміщуваним біотитом часто утворюється облямітка поперечно орієнтованих дрібних кристалів мікрокліну (або мікрокліну та альбіту). В подальшому ці метасоматичні зони розростаються, нерідко можна бачити кварц повністю оточений піроксеном, який може також утворювати прожилки в породі. На контакті кристалів кварцу й рогової обманки вихідних гранітоїдів може утворюватись облямітка (навколо кварцу) сублужного зеленувато-синього амфіболу та альбіту й мікрокліну (які прилягають до індивідів рогової обманки). В процесі більш інтенсивної фенітизації виділення кварцу, біотиту, плагіоклазу повністю заміщуються піроксеном, амфіболом, альбітом, мікрокліном. Такий метасоматит набуває складу сіеніту з пертитовими польовими шпатами або альбіт-мікроклінової породи, в якій ці два мінерали кристалізувались як окремі індивіди, рідше альбітиту або мікроклініту. Простежити процес заміщення вихідних пертитів у процесі фенітизації нам не вдавалося. Можна вважати, що ці мінерали перекристалізувались, а на місці мікроклін-

периту утворювались самостійні індивіди мікрокліну та альбіту.

Вказана зональність новоутворених мінералів фенітів навколо виділень кварцу та в зонах їх контактів з кристалами плагіоклазу та біотиту (рогової обманки) пояснюється різною міграційною здатністю петрогенних елементів у процесі лужного метасоматозу. Алюміній (як амфотерний елемент) малорухливий у лужному середовищі, тому новоутворені мінерали, до складу яких входить алюміній (альбіт, мікроклін), формувались безпосередньо на місці плагіоклазу, біотиту або рогової обманки. В той же час виділення лужних піроксенів та амфіболів приурочені до кристалів кварцу або утворюють прожилки за їх межами. До складу цих мінералів входить натрій, частково калій, кальцій, залізо, магній, кремнезем. Очевидно всі ці компоненти рухливі в лужному середовищі. При цьому, кремнезем частково перерозподілявся в фенітизованій породі (йшов на побудову кристалів альбіту та мікрокліну на місці біотиту та плагіоклазу), а частково (можливо більша або значна його частина) виносився за межі фенітового ореолу. Так, у Приазов'ї спостерігались істотно халцедон-кварцові породи з карбонатами, флюоритом, оксидами заліза, рідкісноземельними мінералами, а також егірином та лужним амфіболом (с. Набережне на р. Кальміус).

Якщо фенітизація захоплювала істотно кварцові породи (наприклад, у Приазов'ї, балка Тунікова, південніше с. Красновка), то можна спостерігати подібну картину заміщення мінералів, яка є ніби негативом такої в гранітоїдах. В таких кварцитах кристали біотиту заміщувались поступово від центру до периферії (межа з оточуючими кристалами кварцу) мікрокліном, лужним амфіболом та егірином. Знову ж таки, ця зональність відображає ступінь рухливості петрогенних компонентів у процесі лужного метасоматозу (алюміній як найменш рухливий входить до складу мікрокліну, який утворюється на місці заміщеного біотиту). В той же час кристали піроксенів і амфіболів поширені по всьому об'єму фенітизованого кварциту, інколи утворюють досить потужні (до 10 см) прожилки. В апогранітоїдних фенітах прожилки егірину й амфіболу бувають як

майже мономінеральними, так і зональними (частіше з лужним амфіболом у центрі та егірином по периферії).

В залізистих кварцитах відбувались подібні процеси утворення лужних піроксенів та амфіболів. Проте, останній утворювався також у процесі заміщення кумінгтоніту, який є характерним для залізистих кварцитів і сланців. З такими лужними метасоматитами пов'язана уранова, подекуди V-Sc мінералізація.

Таким чином, у процесі утворення фенітів відбувалось заміщення мінералів вихідних порід з відношенням $(Na+K)/Al < 1$ (Ka) з утворенням у кінцевому результаті перенасичених лугами ($Ka > 1$) порід сієнітового або суттєво альбітового чи мікроклінового складу. Інколи в фенітах утворювались астрофіліт, куплетський, евіділіт, характерні для агпаїтових фельдшпатоїдних сієнітів (Дмитрівка, Турин мис Кольського п-ва) [5]. Тобто, принесення лугів (переважно натрію) призводило до перенасичення ними метасоматитів ореолів фенітизації та тріщинних зон. Цікаво, що слабо перенасичені лугами феніти могли утворюватись і навколо масивів лужних порід міаскітового складу (міаскітів, йоліт-мельтейгітів, карбонатитів).

Формування лужних метасоматитів – апогранітоїдних фенітів та ураноносних альбітитів – нерідко завершувалось карбонатними або флюорит-карбонатними жильними утвореннями з рідкісноземельною (феніти) або урановою мінералізацією. Для апогранітових альбітитів Чернігівського масиву, а також Дмитрівського кар'єру та б. Тунікова характерна багата цирконієва та ніобієва (пірохлор, колумбіт) мінералізація.

Отже, процес фенітизації кварц-вмісних порід проявлявся таким чином.

1. Парагенезиси нормального ряду лужності (плагіоклаз, амфібол, гранат) заміщувались мінералами, в складі яких відношення $(Na+K)/Al$ ставало більшим або, принаймні, рівним одиниці. Тобто плагіоклаз (олігоклаз) у складі гранітоїдів заміщувався альбітом, біотит (як правило, глиноземистий) – низькоглиноземистим анітом (або селадонітом). На контактах кристалів біотиту та кварцу утворювалась реакційна облямівка піроксену, яка спо-

чатку формувалась між кристалами біотиту та кварцу, а надалі могла повністю оконтурювати виділення кварцу. Подібні реакційні взаємовідношення могли відбуватись на контактах кристалів рогової обманки та кварцу.

2. Подальший процес фенітизації призводив до кристалізації лужних амфіболів та піроксенів (рибекіт-арфведсоніт, егірин), які можуть утворювати облямівки навколо кварцу, петлясті агрегати між крупнішими зернами калішпату та альбіту або виділяться у вигляді прожилків зональної будови, що взаємно перетинаються. При цьому егірин часто буває в центральній частині, а лужний амфібол по периферії таких прожилків, можуть утворюватись інколи майже відокремлені виділення цих мінералів.

В глибоко еродованих масивах (Чернігівський, Проскурівський, Антонівський, Малотерсянський) у фенітах утворювались піроксени з вмістом егіринового міналу не більше 30-35% і зі значною кількістю геденбергітового міналу. Власне лужних амфіболів у фенітах цих масивів немає, або вони представлені Ca-Na різновидами типу рихтериту, вінчиту або низькоглиноземистою роговою обманкою (в апофенітових альбітитах Чернігівського карбонатитового масиву).

3. Такі процеси відбувались у екзоконтактах карбонатитових жил Хлібодарівського кар'єру або ж спричиняли утворення фенітових ореолів біля карбонатитів і лужних порід Чернігівського, Проскурівського, Антонівського, Малотерсянського, Городницького та інших масивів.

4. Інколи фенітизація завершувалась утворенням суттєво альбітових, альбіт-калішпатових порід з астрофілітом, куплетськітом, низькоглиноземистими слюдами, мінералами групи пірохлор-гаттчетоліту, та іншими ніобатими, а також TR-фтор-карбонатами (бастнезит, паризит).

5. Крім того, ніобієва мінералізація Чернігівського та Малотерсянського карбонатитових масивів може бути пов'язана з іншим видом альбітитів з магнезіально-залізистим біотитом, кальцитом, низькоглиноземистим амфіболом типу еденітової рогової обманки. Ці альбітити характеризуються ніобієвою та цир-

конієвою мінералізацією (пірохлор-гаттчетоліт, колумбіт, циркон) [3].

Отже, процес фенітизації та пов'язана з ним рудна мінералізація залежать від типу порід, які зазнають фенітизації (гранітоїди, кварцити, пісковики), а також від рівня ерозійного зрізу лужних масивів.

Вертикальна та латеральна зональність лужних фенітових ореолів. Для фенітів властива локальна зональність (мономінеральні облямівки навколо кварцу, зональні прожилки егірину та лужного амфіболу), але потужних мінеральних зон, які, наприклад, характерні для деяких скарнів, не спостерігалось. Можна лише відзначити меланократові альбіт-егіринові ділянки потужністю до перших метрів у фенітах Березової Гаті [10]. Можливо, це пояснюється інертністю алюмінію в процесі утворення різних лужних метасоматитів і фенітів. При цьому на місці заміщуваних польових шпатів (плагіоклаз, калішпат) вихідних гранітів утворювались мікроклін та альбіт.

Разом з тим удалось виявити деякі фрагменти вертикальної зональності різних лужних метасоматитів. Вважається, що суттєво натрієві феніти властиві для абісальних карбонатитових комплексів, а калієві – для приповерхневих. Подібна зональність спостерігається в Чернігівському масиві – в південному та північному його виклинюваннях феніти й лужні сієніти стають більш калієвими [3]. Виявлені також відмінності в складі фемічних мінералів для різних метасоматитів. Так у фенітах деяких глибоко еродованих лужно-ультраосновних комплексів (Чернігівський, Проскурівський, Антонівський) відсутні власне лужні піроксени й амфіболи. В складі піроксенів вміст егіринового міналу не перевищує 30-35% (егірин-саліти, егірин-феросаліти), а найбільш лужні амфіболи представлені рихтеритами або різновидами, проміжними за складом між рихтеритом та катафоритом. Щось подібне відзначалось [19] для ураноносних альбітитів, де з глибиною в складі лужного амфіболу зростає вміст кальцію (тобто за складом він наближався до рихтериту). В лужних метасоматитах, що утворились по залізистих кварцитах Правобережного району (дещо більш метаморфізованих і, ймовірно, більш

еродованих ніж у Криворізькому басейні, клінопіроксени також мають проміжний між егірином і салітом склад (т.з. егірин-авгіти), а амфіболи близькі до рихтериту [17]. Пониження вмісту егіринового міналу в складі піроксену з лужних метасоматитів, що залягають на більших глибинах, пов'язане, очевидно, з пониженням фугітивності кисню з глибиною. Відзначимо, що в згаданих вище глибоко еродованих лужно-ультраосновних масивах відсутні флюорит та первинні рідкісноземельні фтор-карбонати, хоча фтор практично повністю заповнює додаткові аніони в складі апатиту (фторапатит) і в підвищеній кількості входить до складу слюд і амфіболів [10].

В той же час у фенітах гіпабісальних лужно-ультраосновних масивів Північно-Західної частини УЩ (Городниця, Глумча, Болярка) наявні лужні істотно егіринові піроксени й амфіболи рибекіт-арфведсонітового складу. Егірин та рибекіт-арфведсоніти, а також флюорит та рідкісноземельні фтор-кабонати характерні для фенітів Східного Приазов'я [9, 15].

Можливо, існує латеральна й вертикальна зональність за характером рудоносності метасоматитів. Апатит і ніобати більш властиві фенітам, які безпосередньо контактують з карбонатитами або меланократовими лужно-ультраосновними породами, як це, наприклад, має місце в Хлібодарівці. Мінералізація рідкісних земель (фтор-карбонати) та флюориту, очевидно, приурочена до верхів метасоматичної колони тріщинних метасоматитів (фенітів).

Фізико-хімічні умови формування фенітів. Як показує аналіз численних опублікованих результатів дослідження карбонатитових комплексів, які практично завжди супроводжуються фенітами, останні можуть дещо або навіть суттєво відрізнитись у різних масивах. Проте спільним для них є: зв'язок з карбонатитовим комплексом у цілому або ж з породами окремих фаз (карбонатити, ійоліт-мельтейгіти, нефелінові сіеніти); зазвичай, потужність фенітових ореолів (карбонатитових комплексів, які залягають серед гранітоїдів) близька до такої інтрузивних лужних порід або значно її перевищує. Ще перші дослідники (Б.Бреггер, Г.Екерман) вважали, що фенітизація пов'язана з карбонатитовими магмами та луж-

ними флюїдами. Щодо флюїдів, які обумовили утворення фенітів Східного Приазов'я, можна однозначно сказати, що вони були лужними, переважно натрієвими, мали в своєму складі CO_2 і фтор. Є підстави вважати, що вони були досить «сухими» щодо H_2O , оскільки в фенітах загалом мало мінералів з ОН-групою або іншою формою входження води. Такими є лужний амфібол та низькоглиноземні слюди (аніти, селадоніти), але їх частка в мінеральному складі фенітів в цілому незначна. До того ж, вони часто з'являються як пізніші мінерали, що заміщують егірин, інколи низькоглиноземний селадоніт заміщує астрофіліт [12]. В той же час переважаючими мінералами фенітів є польові шпати (альбіт, мікроклін) та егірин.

В багатьох проявах фенітів Східного Приазов'я наявний флюорит, який утворює розсіяну вкрапленість (Дмитрівка) або разом з кальцитом – жили, рідше прожилки, гнізда.

Польові шпати в досліджених фенітах зрілих стадій (в складі яких уже заміщені мінерали вихідних порід) представлені окремими індивідами альбіту та мікрокліну (на відміну від пертитових, мезопертитових лужних польових шпатів у фенітах Чернігівського, Проскурівського та Антонівського масивів).

Такий набір мінералів, очевидно, свідчить про невисоку (<660°C) температуру формування досліджених фенітів. Високий вміст лугів та фтору в складі фенітизуючих флюїдів також сприяли сповільненій і відокремленій кристалізації альбіту та мікрокліну.

В зв'язку з високою лужністю та низькою кальцієвістю піроксенів та амфіболів досліджених фенітів, вони мало придатні для мінералогічної термометрії, а на діаграмах фазових рівноваг мінералів [16] ці мінерали потрапляють до низькотемпературної області (<400°C). Звичайно, це мінімальні температури утворення досліджених фенітів. Як уже згадувалось, у абісальних масивах (Чернігівка, Проскурівка, Антонівка) піроксени та амфіболи мають Ca-Na склад, а польові шпати – пертитові, тобто вони є більш високотемпературними (>660°C). Наведені вище дані узгоджуються з міркуванням про те, що феніти Східного Приазов'я утворились, переважно, в апікальних частинах метасоматичних колон.

Для оцінки умов кристалізації фенітів Східного Приазов'я аналізувались феніти балки Тунікова та Дмитрівського кар'єру. Використовувались амфібол-клінопіроксеновий та біотит-амфіболовий термометри. Решта відомих термометрів через специфічний склад мінералів (їх високу лужність) не використовувалась.

Слід зазначити, що відомі геобарометри та термометри розроблялись для мінералів менш лужного складу, які мають вищу магнезіальність та більш високий вміст кальцію. Низька магнезіальність егірину (0,03-0,3 мас.% Mg для фенітів Дмитрівки і б. Тунікова) є причиною непридатності цих термометрів. Але отримані значення температурних умов кристалізації свідчать, що феніти Східного Приазов'я кристалізувались (чи перекристалізувались) за температури <math><400^{\circ}\text{C}</math>.

Є підстави вважати, що фенітизуючі флюїди були подібними до лужно-карбонатних лав вулкану Олдоліньо-Ленгаї або похідними від таких лав високолужними флюїдами-розплавами. Очевидно, не випадково карбонатити всіх відомих масивів завжди супроводжуються екзоконтактовими фенітами (якщо вони залягають серед кварц-вмісних порід). Нагадаємо, що карбонатитові лави та туфи Олдоліньо-Ленгаї являють собою розплави карбонатів лугів (Na_2O – 30%, K_2O – 7%, CO_2 – 32%) зі значною дімішкою CaO (13-19%), Cl (2-4%), F (2-3%), а також U (35 ppm). Такі або подібні розплави, якщо вони будуть контактувати (як інтрузивні тіла) з кварц-вмісними породами, викликають утворення фенітів. Можливо, в абісальних умовах цей процес дійде до плавлення (анатексису) фенітизованих порід, як це вважав Г.Екерман [24] в запропонованій моделі формування карбонатитового комплексу Ально. Цікаво, що ця модель була запропонована Г.Екерманом ще до відкриття лужно-карбонатних лав Олдоліньо-Ленгаї. Подібну модель для калієвих порід було запропоновано ще раніше А.Холмсом [23], який вважав, що в природі існують розплави, які складаються, переважно, з K_2CO_3 . Такі розплави можуть утворювати суттєво калієві (мікроклінові) феніти, які виявлені в деяких карбонатитових комплексах (у т.ч. Ально) і характерні для протерозойських порід Дубравин-

ського карбонатитового комплексу Воронежського кристалічного масиву [1].

Якщо карбонатитові лави типу Олдоліньо-Ленгаї «прореагують» з оточуючими гранітоїдами, до яких будуть мігрувати Na_2CO_3 і K_2CO_3 , то залишкова фракція в них викристалізується, переважно, як CaCO_3 . Звичайно, в природі карбонатитові магми складніші, містять крім Na_2CO_3 , K_2CO_3 та CaCO_3 – також MgCO_3 , FeCO_3 , MnCO_3 , SrCO_3 , кристалізація яких спричиняє утворення кальцитових, доломітових, анкеритових і сидеритових карбонатитів (останні також виявлені в деяких комплексах [20]) або суттєво гематитових порід типу редберг з комплексу Фен [4]. Можливо, подібну «залишкову» природу мають і флюорит-карбонатні породи (жили), що супроводжують феніти Східного Приазов'я (Петрово-Гнутово, Каплани, частково Набережне).

Опинившись у верхній частині земної кори, такі сильно концентровані лугами розплави або розплави-розсоли можуть змішуватись із метеорними водами, утворюючи лужно-карбонатні розчини, які теж, проникаючи до тріщинних зон, будуть здійснювати низькотемпературну фенітизацію (утворення альбіту, мікрокліну, цеолітів, карбонатів) вмісних порід. Зрештою, не виключається можливість, що подібну природу можуть мати ураноносні альбітити, якщо згадати про високий вміст урану (34,5 ppm) у складі лав Олдоліньо-Ленгаї та ознаки глибинної природи CO_2 в цих альбітитах і супроводжуючих їх карбонатних породах.

Отже, є підстави вважати, що лужні метасоматити Східного Приазов'я є фенітами, генетично пов'язаними з карбонатитовими комплексами. Прямим свідченням цього є екзоконтактові феніти карбонатитових жил у Хлібодарівці.

Джерела фенітизуючих флюїдів за даними ізотопно-геохімічних досліджень ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$). Досить тривалий час для виявлення генезису гірських порід застосовуються ізотопно-геохімічні дослідження. Найбільш доступне і широко вживане – встановлення ізотопного складу кисню ($\delta^{18}\text{O}$), вуглецю ($\delta^{13}\text{C}$), стронцію ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$), рідше – магнію, сірки та самарій-неодимової системи. Інфор-

мативними мінералами для визначення ($\delta^{18}\text{O}$) і ($\delta^{13}\text{C}$) є карбонати, які були використані і в наших дослідженнях.

Вибір карбонату для ізотопно-геохімічних досліджень метасоматитів не випадковий, а пояснюється тим, що CO_2 в складі карбонатів є одним з головних компонентів, який було принесено в процесі формування метасоматитів. Безумовно, силікатна частина метасоматитів майже повністю успадкована від заміщуваних корових порід (гранітоїдів, кварцитів), за винятком принесених лугів (переважно, Na_2O).

Феніти супроводжуються жильними карбонатними і флюорит-карбонатними породами у проявах Петрово-Гнутово, Орлівське, Каплани та Набережне. За винятком останнього, в Інституті геохімії, мінералогії та рудоутворення НАН України були проаналізовані проби трьох інших названих проявів та кальцити авторської колекції, а також (для порівняння) були використані опубліковані дані про кальцити фенітових проявів по р. Кальміус та жильнах карбонатитів Хлібодарівки [6, 11].

Нажаль, ізотопні дослідження стронцію провести не вдалось, і ми скористалися лише одним визначенням $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ для кальциту з жили Петрово-Гнутівського рудопрояву [6].

Як показали одержані результати, діапазон варіацій $\delta^{13}\text{C}$ в складі кальциту з фенітів становить від -4 до -8,7. Значно ширший діапазон варіацій $\delta^{18}\text{O}$ від +9 до +20. Діапазон варіацій $\delta^{13}\text{C}$ в складі кальциту з фенітів по суті не відрізняється від такого ж для типових карбонатитів. Вважається, що «глибинні» значення не перевищують 6-10‰. Разом з тим для типових карбонатитів Чернігівського масиву показник $\delta^{18}\text{O}$ досягає 17,5‰ [11], тобто набуває корових значень, тоді як $\delta^{13}\text{C}$ для цього та інших карбонатитових масивів має порівняно вузький діапазон варіацій (близьких до т.з. Ока бокс) (рис. 1).

Підвищені та високі значення $\delta^{18}\text{O}$ в карбонатитах і досліджених метасоматитах пояснюються різними причинами, головною з яких є обмін з метерними водами, коровим киснем та засвоєнням останнього. Як було показано в цитованій роботі, одним з важливих факторів зростання величини $\delta^{18}\text{O}$ є також окиснення

заліза (утворення магнетиту за рахунок FeO карбонатів). Якщо порівняти карбонатити Чернігівського масиву (особливо Бегім-Чокрацької ділянки) з дослідженими метасоматитами, то для останніх характерна значно вища окисненість заліза (утворення егірину). Тобто разом із засвоєнням корового кисню, можливо, відбувалось фракціонування ізотопів кисню за високої фугітивності кисню в процесі утворення фенітів.

Що стосується ізотопного складу стронцію, то незначна кількість даних свідчить про глибинну або частково контаміновану природу флюїдів, які викликали фенітизацію. Так, в фенітах Березової Гаті були встановлені такі відношення $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в складі апатиту – 0,7029-0,7036; в складі кальциту з Петрово-Гнутово цей показник становить 0,7067.

Таким чином, ізотопні показники вуглецю, стронцію та частково кисню такі ж, або подібні до показників карбонатитів, у тому числі хлібодарівських.

Отже, результати ізотопно-геохімічних досліджень метасоматитів і розташованих поряд з ними карбонатитів (Хлібодарівка, Петрово-Гнутово, Каплани) свідчать про глибинне джерело вуглекислоти. Отримані «карбонатитові» значення $\delta^{13}\text{C}$ від -4,02 до -6,55‰ за нашими та від -6,7 до -8,6‰ за даними інших авторів. В той же час значення $\delta^{18}\text{O}$ в інтервалі від +8,5 до +20,4‰ можна трактувати як глибинні, контаміновані та корові. При цьому в карбонатитах Хлібодарівки ізотопний склад як вуглецю, так і кисню має «карбонатитові» значення ($\delta^{13}\text{C}$ від -6,4 до -7,5‰, та $\delta^{18}\text{O}$ – від +8,5 до +12,8‰), тоді як в метасоматитах на р. Кальміус значення $\delta^{18}\text{O}$ набагато вищі (від +12,6 до +20,4‰). Аналогічно глибинні значення $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ – 0,703 отримані для карбонатитів Хлібодарівки і фенітів Березової Гаті, а для Петрово-Гнутівського прояву – 0,706 [10, 20] (тобто з домішкою корового матеріалу). Всі ці геохімічні характеристики властиві фенітам карбонатитових комплексів.

Так, у процесі формування фенітів лужно-ультраосновних комплексів брали участь флюїди, безумовно, глибинного походження. Вони пов'язані з мантійним джерелом, звідки виплавліялись первинні лужні магми типу мела-

нефелініту. Деякі дослідники вважають, що і карбонатитові розплави можуть виплавлятися безпосередньо з мантійного субстрату. Безперечно, ці лужні карбонатитові магми типу Олдоліньо-Ленгаї можуть реагувати з вмісними

породами, перетворюючи їх на феніти (такий механізм запропонував Г.Екерман [22] ще до відкриття лужних карбонатитів Олдоліньо-Ленгаї).

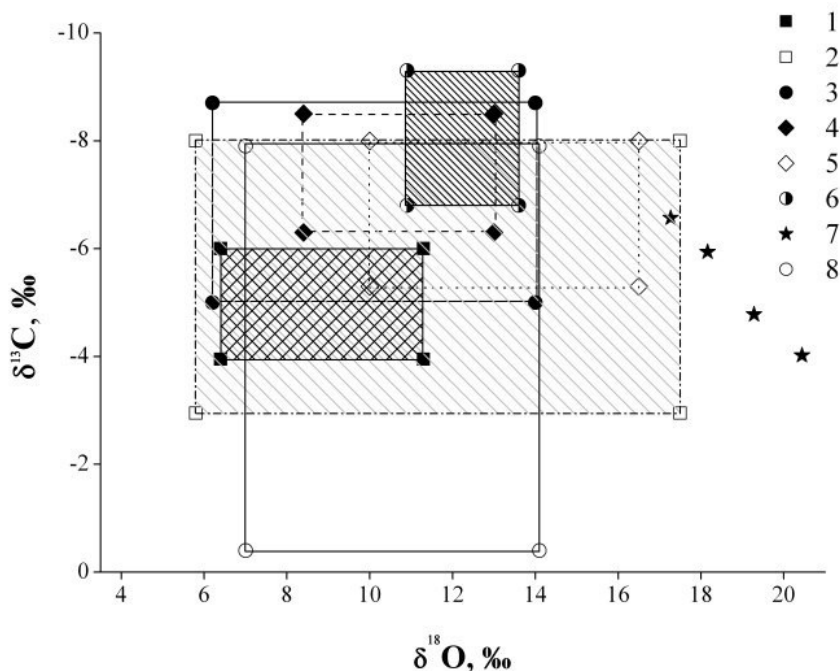


Рис. 1. Ізотопний склад С і О в складі карбонатів з фенітів, лужних метасоматитів і карбонатитів Приазов'я та інших регіонів.

1 – Ока-Бокс (прийняті значення для типових карбонатитів); 2 – карбонатити Чернігівського масиву; 3 – карбонатні породи Октябрського масиву; 4 – жильні карбонатити Хлібодарівки; 5 – кальцити Петрово-Гнутівського рудопрояву; 6 – феніти Березової Гаті; 7 – метасоматити Східного Приазов'я (додаткові авторські дані); 8 – флогопіт-карбонатні прожилки в ураноносних альбітитах [9].

Беручи до уваги ізотопний склад вуглецю ($\delta^{13}\text{C}$) кальцитових жил, що супроводжують ураноносні альбітити [13, 19], ці лужні метасоматити також пов'язані з глибинними джерелами. Можливо, таку ж природу мають і лужні метасоматити з ванадієвою та скандієвою мінералізацією [9].

Отже, в межах УЩ поширені апогранітоїдні та апокварцитові лужні метасоматити з різною рудною мінералізацією. Виявлена вертикальна зональність масивів різних лужних метасоматитів. Зроблені припущення про гли-

бинну природу більшості видів лужних метасоматитів (сієнітів, ураноносних альбітитів).

Деякі дослідники розглядають лужні метасоматити Східного Приазов'я як породи, що належать до Октябрського масиву або споріднені з ними (наприклад, альбітити Дмитрівського кар'єру відносять до маріуполітів). Ми вважаємо, що численні прояви лужних метасоматитів цього району належать до фенітів, пов'язаних з масивами лужно-ультраснової формації (які не розкриті сучасним ерозійним зрізом).

Міркування та деякі докази щодо петрогенезису лужних метасоматитів Східного Приазов'я, в т.ч. й тих, що знаходяться поблизу Октябрського масиву, наводились раніше [7, 8]. Тому відзначаємо тільки найголовніші з них.

1. В Хлібодарівському кар'єрі (який розташований неподалік на захід від Октябрського масиву) лужні метасоматити (як екзоконтактові утворення) супроводжують жили типових кальцитових карбонатитів (з пірохлором та апатитом).

2. Лужні метасоматити басейну р. Кальміус (значно віддалені від Октябрського масиву) нерідко (відомий Петрово-Гнутівський рудопояс, села Каплани, Орлівське, Набережне) супроводжуються кальцитовими або флюорит-кальцитовими жилами, в яких $\delta^{13}\text{C}$ має «глибинне» (карбонатитове) значення (рис. 1).

3. Амфіболи лужних метасоматитів (фенітів) Східного Приазов'я мають залізомагнезійний склад (успадкований від заміщених порід) і належать до рибекіт-арфведсонітової серії (подібні за складом також амфіболи із ураноносних альбітитів). У той же час у лужних магматичних породах Октябрського масиву власне лужні амфіболи відсутні, а наявні в них відзначаються високою (частіше гранично високою) залізистістю і належать до Са-На групи з високим вмістом Al_2O_3 (гастингсит, тараміт, інколи катфорит). Крім того, амфіболи з магматичних порід Октябрського масиву характеризуються дуже низьким вмістом фтору (незважаючи на наявність флюориту в цих породах), тоді як в амфіболах фенітів с. Дмитрівка завжди фіксується високий вміст фтору (до 3,5%), а в б. Тунікова – до 4,2%. Якщо ж у магматичних породах УЩ (Яструбецький сієнітовий масив, грорудити Східного Приазов'я) кристалізувались лужні амфіболи серії рибекіт-арфведсоніт, то вони мають гранично високу залізистість, а інколи (в грорудитах) і з підвищеним вмістом титану [7, 10], тобто різко відмінні від амфіболів з фенітів Східного Приазов'я та інших ділянок УЩ (Березова Гать).

4. Хоч на окраїнах Октябрського масиву лужні метасоматити спостерігаються порівняно часто (села Дмитрівка, Лазарівка, Шевченко), проте окремі інтрузивні тіла цього масиву

(дайки, жили, штоки егіринових мікрофойїтів, фойїтів, сієнітів, аґаїтових фонолітів, маріуполітів), що залягають серед оточуючих гранітоїдів, не супроводжуються екзоконтактовими лужними метасоматитами, як це характерно для будь-яких інтрузивних порід лужно-ультраосновної формації.

5. Опубліковані раніше та авторські результати геохронологічних визначень свідчать, що більшість проявів лужних метасоматитів (фенітів) Східного Приазов'я є древнішими (близько 2,0 млрд. р.) від Октябрського масиву (1,8 млрд. р.). Звичайно, при цьому не виключається наявність у Східному Приазов'ї молодших, одновікових з Октябрським масивом (як це недавно було виявлено під час ревізійних робіт з визначення віку цирконів з альбітитів Дмитрівського кар'єру) [24] проявів лужно-ультраосновної формації (та пов'язаних з ними фенітів).

Узагальнюючий висновок про просторове та вікове співвідношення фенітів Східного Приазов'я та Октябрського масиву можна сформулювати так: більшість проявів фенітів утворилась раніше цього масиву, а його інтрузія вкоринилась у одну з ділянок їх попереднього активного розвитку, використовуючи тектонічно послаблену зону глибинних розломів.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Бочаров В., Фролов С.** Апатитоносные карбонатиты КМА // Воронеж: Изд. Воронежского университета, 1993.– 193 с.
2. **Белевцев Я.Н., Коваль В.Б., Бакаржеев А.Х. и др.** Генетические типы и закономерности размещения урановых месторождений Украины // Киев: Наукова думка, 1995.– 396 с.
3. **Глевасский Е.Б., Кривдик С.Г.** Докембрийский карбонатитовый комплекс Приазовья // Киев: Наукова думка, 1981.– 228 с.
4. **Джейкс А., Луис Дж., Смит К.** Кимберлиты и лампроиты Западной Австралии // Москва: Мир, 1989.– 434 с.
5. **Евдокимов М.Д.** Фениты Турьинского щелочного комплекса Кольского полуострова // Ленинград: Изд. Ленинградского университета, 1982.– 445 с.
6. **Загнитко В.Н., Луговая И.П.** Изотопная геохимия карбонатных и железисто-

кремнистых пород Украинского щита // Киев: Наукова думка, 1989.– 316 с.

7. **Кривдік С.Г., Моргун В.Г.** Про формиційну приналежність лужних метасоматитів Східного Приазов'я // *Геохімія та рудоутворення (Київ)*.– 2010.– №28.– С. 16-25.

8. **Кривдік С.Г., Моргун В.Г.** Феніти та лужні метасоматити Українського щита (петрографічні, мінералогічні та геохімічні особливості) / VII Міжнародна школа наук о Землі. Тезиси докладів // Одеса, 2011.– С. 51-53.

9. **Кривдік С.Г., Моргун В.Г.** Щелочные метасоматиты Приазовского и Ингульского мегаблоков Украинского щита (геология, петрография, геохимия) / III Міжнародна науково-технічна конференція «Гірнична геологія, геомеханіка і маркшейдерія». Збірник наукових праць // Донецьк, 2011.– №9, ч. 2.– С. 216-238.

10. **Кривдік С.Г., Ткачук В.И.** Петрология щелочных пород Украинского щита // Киев: Наукова думка, 1990.– 408 с.

11. **Кривдік С.Г., Ткачук В.И.** Грорудити Східного Приазов'я // *Мінералогічний журнал*.– 1996.– Т. 18, №3.– С. 67-83.

12 **Кривдік С.Г., Шарыгин В.В., Моргун В.Г.** Минералы группы астрофиллита в Приазовье, Украина / *Материалы XXVIII Международной конференции* // Москва-Минск, 2011.– С. 105-107.

13. **Лазаренко Е.К., Лавриненко Л.Ф., Бучинская Н.И., и др.** Минералогия Приазовья // Киев: Наукова думка, 1980.– 437 с.

14. **Матвійчук М.В.** Геохімія рідкіснометалевого рудоутворення в докембрійських лужних породах та карбонатитах Приазовського блоку Українського щита / Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата геологічних наук // Київ, 2002.– 26 с.

15. **Моргун В.Г.** Геохімічні особливості лужних метасоматитів (фенітів) Східного

Приазов'я та їх потенційна рудоносність // *Наукові праці Донецького національного технічного університету*.– 2011.– №15.– С. 188-192.

16. **Перчук Л.Л., Рябчиков И.Д.** Фазовое соответствие в минеральных системах // Москва: Недра, 1976.– 288 с.

17. **Половко Н.И.** Баланс вещества при образовании щелочных метасоматитов Криворожско-Кременчугской зоны // Киев: Наукова думка, 1970.– 140 с.

18. **Сергеев А.С.** Фениты комплекса ультраосновных и щелочных пород // Ленинград: Изд. Ленинградского университета, 1967.– 80 с.

19. **Синицын А.А., Мельников Б.Ф., Романенко И.М.** Химический состав породообразующих минералов апогранитоидных ураноносных альбититов докембрия / Киев: Препринт ИГФМ НАН Украины, 1988.– 49 с.

20. **Таттл О., Гиттинс Дж.** Карбонатиты // Москва: Мир., 1969.– 486 с.

21. **Broegger W.C.** Die Eruptivegesteine des Kristianiagebietes. IV. Das Fengebiet in Telemark, Norwegen // *Norsk. videsk. selsk. Skrifter 1, Math.–Naturv. Kl.*– 1921.– № 9.– S. 408.

22. **Eckermann H. von.** The alkaline district of Alnö island // *Sveriges geol. Undersökning, Se. Ca*, 1948.– №36.– P. 1-66.

23. **Holmes A.A.** A contribution to the petrology of kimberlite and its inclusions. // *Trans. Geol. Soc. South Afrika.*– 1936.– V. 39.– P. 379-427.

24. **Khomenko V. Khomenko V., Stepanyuk L. e. a.** Crystallochemistry and history of zircons from alkaline and sub-alkaline rocks of Azov area / *Conference dedicated to the memory of J.A.Morozewicz «Alkaline Rocks: Petrology, Mineralogy, Geochemistry»*. Kyiv, 19-21 September // Kyiv, 2010.– P. 32-33.

МОРГУН В.Г. Петрогенезис фенітів Східного Приазов'я.

Резюме. Результати вивчення лужних метасоматитів Українського щита та аналогічних гірських порід інших регіонів дозволяють зробити висновок, що найбільшою мірою зазнають лужного метасоматозу кварц-вмісні породи (гранітоїди, кварцити). Безкварцові породи основ-

ного (габроїди, амфіболіти, кристалічні сланці) та ультраосновного складу, а також кальцифіри, мергелі та інші слабо зазнавали олугування (фенітизації). Переважна більшість лужних метасоматитів розвивалась по гранітоїдах (гранітах, гнейсах, мігматитах), найбільш поширених у межах докембрійських щитів. У процесі утворення фенітів відбувалось заміщення мінералів вихідних порід з відношенням $(Na+K)/Al < 1$. На прикінцевій стадії процесу формувались перенасичені лугами $(Na+K)/Al > 1$ породи сієнітового або суттєво альбітового, мікроклінового складу. Апогранітоїдні та апокварцитові феніти характеризуються різноманітною рудною спеціалізацією.

Ключові слова: Український щит, Приазовський мегаблок, феніти, мінералогія, геохімія, генезис.

МОРГУН В.Г. Петрогенезис фенитов Восточного Приазовья.

Резюме. Результаты изучения щелочных метасоматитов Украинского щита и аналогичных горных пород других регионов позволяют сделать вывод, что наиболее подвержены щелочному метасоматозу кварц-содержащие породы (гранитоиды, кварциты). Бескварцевые породы основного (габброиды, амфиболиты, кристаллические сланцы) и ультраосновного состава, а также кальцифиры, мергели и другие слабо подвергались ошлачиванию (фенитизации). Подавляющее большинство щелочных метасоматитов развивалось по гранитоидам (граниты, гнейсы, мигматиты), наиболее распространенным в границах докембрійских щитов. В процессе образования фенитов происходило замещение минералов исходных пород с отношением $(Na+K)/Al < 1$. На конечной стадии процесса формировались перенасыщенные щелочами $(Na+K)/Al > 1$ породы сиенитового или существенно альбитового, микроклинового состава. Апогранитоидные и апокварцитовые фениты характеризуются разнообразной рудной специализацией.

Ключевые слова: Украинский щит, Приазовский мегаблок, фениты, минералогия, геохимия, генезис.

MORGUN V.G. Eastern-Azov area fenites petrogenesis.

Summary. Results of studying alkali metasomatites of the Ukrainian Shield and analogous rocks of other regions let us make a conclusion about quartz containing rocks (granitoids, quartzites) to be the most subjected ones to alkali metasomatoses. Quartz-free rocks of basic (gabbroids, amphibolites, crystalline schists) and ultrabasic composition as well as calciphyres, marls and others are weakly subjected to alkalinization (fenitization).

The main reason of quartz-containing rocks priority ranking consists in the fact that additional quantity of SiO_2 is necessary for fenitization (alkalinization) of initial rocks to replace plagioclase and biotite with albite and microcline as it is usually seen in thin sections. The first indications of fenitization appear around quartz crystals: at contacts with plagioclase crystals as thin albite margin; at contacts with biotite crystals they appear as a zone of green (aegirine containing) pyroxene and (at contacts with crystals of replaced biotite) – zones of fine grained microcline (microcline and albite). Newly formed alkali pyroxenes and amphiboles of fenites are formed by metasomatic replacement of biotite, hornblende, sometimes of garnet. During the process of more intense fenitization quartz, biotite and plagioclase are entirely replaced by pyroxene, amphibole, albite and microcline. Such metasomatites obtain composition of cyenite, albite-microcline rock, more seldom of albitite and microclinite.

In the course of fenites formation replacement of initial rock minerals having ratio $(Na+K)/Al < 1$ took place. At the final stage of the process oversaturated by alkali $(Na+K)/Al > 1$ rocks of cyenite or albite, microcline composition were formed. In other words, alkali advection (namely sodium) leads to oversaturation of metasomatites forming fenitization aureoles. Weakly oversaturated by alkali fenites

can be formed around alkali rocks bodies of miaskite composition (miaskites, ijolite-melteigites, carbonatites). The fluids that contributed into Eastern Azov fenites formation were of alkali content, mainly of sodium, containing carbon dioxide and fluorine.

The results of isotopic studies showed values $\delta^{13}C$ in calcite from fenites to change from -4 to -8.7‰ that is specific to typical carbonatites. Much wider range of variations is for $\delta^{18}O$ – from +9 to +20‰. Studies of stereoscopic and age relations of Eastern Azov fenites and the massif Ochiabrskyi showed the fact that the most fenites manifestations had been formed before the massif formation, and its intrusion invaded within limits of one of their active development areas using tectonically weakened zone of deep-seated fault.

Key words: Ukrainian Shield, Azov megablock, fenites, mineralogy, geochemistry, genesis.

*Надійшла до редакції 2 лютого 2015 р.
Представив до публікації проф. В.М.Троценко.*