

УДК 549.762.11:549.761.34:553.065(477.87)

СПІВВІДНОШЕННЯ АЛУНІТУ І БАРИТУ В ГІДРОТЕРМАЛЬНИХ ЖИЛАХ БЕРЕГІВСЬКОГО РУДНОГО РАЙОНУ

Н. Словотенко, Л. Скакун, Р. Серкіз

*Львівський національний університет імені Івана Франка
79005 м. Львів, вул. Грушевського, 4
E-mail: mineral@franko.lviv.ua*

Визначено послідовність та умови утворення алуніту й бариту в жильних тілах Берегівського рудного району. З'ясовано головні фізико-хімічні чинники, які визначають механізм та черговість їхнього формування: 1) хімічний склад мінералоутворювальних розчинів, сформований у ході реакції породи й води; 2) кислотність–лужність розчинів; 3) окисно-відновний потенціал розчинів; 4) їхня температура; 5) співвідношення мас розчинів, що реагують. Механізм формування мінералів – це змішування на геохімічному бар'єрі розчинів різного походження, складу й температури.

Ключові слова: алуніт, барит, епітермальна система, жила, катодолюмінесценція, числове фізико-хімічне моделювання, Берегівський рудний район, Україна.

Алуніт Берегівського рудного поля є поширеним мінералом верхніх горизонтів у штокверкових рудних тілах [2, 4], у зоні розвитку близько-поверхневої інтенсивної аргілізації. Відомо, що нижче від верхньої осадової товщі алуніт звичайно трапляється у вигляді розсіяних вкраплень у каолінізованих туфах, а в межах верхньої туфової товщі утворює масивні руди, кварц-алунітові та каолінит-алунітові породи метасоматичного походження, жили, прожилки, вкраплення і гнізда в каолінітових метасоматитах. Тому виявлення алуніту в барит-кварцових жилах нижніх горизонтів було певною мірою несподіваним.

Для епітермальних систем характерна інтенсивна мінливість фізико-хімічних параметрів, зумовлена взаємодією глибинного флюїду з поверхневими водами, різкою зміною фільтраційних властивостей середовища, реакціями між флюїдом і навколишніми породами за гідродинамічного тиску. Мінерали є продуктами еволюції мінералогенетичного середовища і відображають у структурі всі його параметри, саме тому розшифрування певних змін парагенетичних асоціацій мінералів допомагає вивчати процеси мінералоутворення. Ми досліджували алуніт з барит-кварцових жил нижніх горизонтів Мужівського родовища Берегівського рудного поля і спробували з'ясувати причини його появи. Для зіставлення спостережених текстурних особливостей агрегатів порівняли онтогенічні риси агрегатів барит-алунітових взірців, узятих з верхньої барит-алунітової зони Біганського родовища Берегово-Біганського району. Як головний інструмент у дослідженнях обрано онтогенічний метод мінералогії.

Алуніт Берегівського рудного району досліджували в різні роки [1–3, 7, 9]. На сучасному етапі необхідне доповнення досліджень алуніту сучасними методами мінералогії, зокрема, такими, як катодолюмінесцентний імідж-аналіз, який дає змогу досліджувати

внутрішню текстуру мінеральних агрегатів, не помітну під оптичним та електронним мікроскопами, та числове фізико-хімічне моделювання в програмному пакеті CHILLER. Метод числового фізико-хімічного моделювання дає змогу верифікувати гіпотези утворення мінералів, а також кількісно оцінити закономірності, що простежуються в природних гідротермальних процесах. Мета дослідження – з'ясувати причини появи алуніту в кварцових жилах Берегівського рудного поля.

Геологічна позиція. Берегівський рудний район розташований у Закарпатському внутрішньому прогині (рис. 1), що на периферії Панонського серединного масиву і Карпатського орогена. Головними його мінеральними об'єктами є два рудні поля – Берегівське та Біганське, приурочені до однойменних тектоновулканічних структур зони горстових піднять Закарпатського внутрішнього прогину [5]. Берегівське рудне поле представлено родовищами золота, поліметалів, алуніту, каолініту й галузиту. Золото-поліметалеве зруденіння рудного поля обмежене Мужівським і Берегівським родовищами. Біганське рудне поле охоплює однойменне алуніт-барит-поліметалеве родовище.

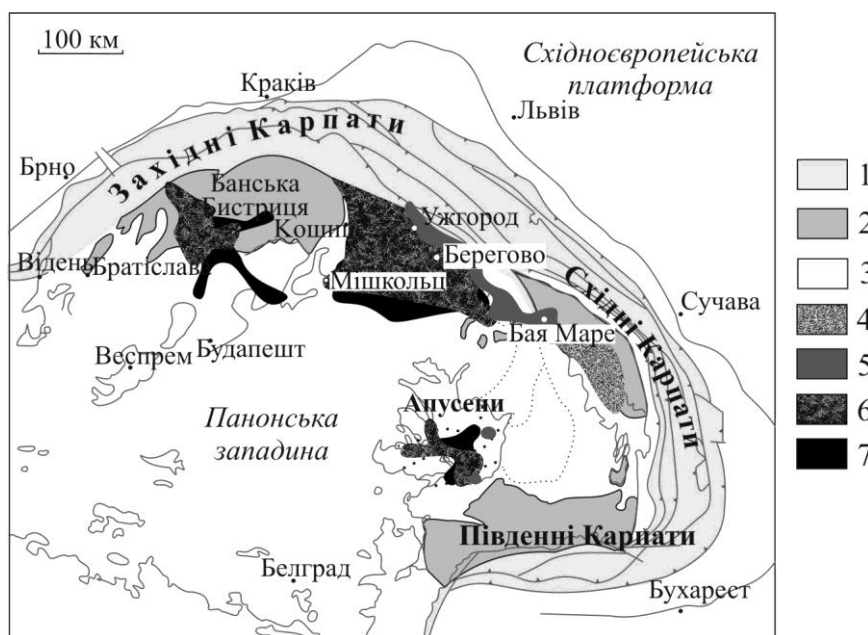


Рис. 1. Оглядова геологічна карта Карпато-Панонського регіону [12]:

1 – флішові Карпати; 2 – кристалічні породи; 3 – кайнозойські осадові утворення; 4–7 – вулканічні утворення міоцену: 4 – верхній панон, 5 – нижній панон, 6 – сармат, 7 – середній і верхній баденій.

Стратиграфічний розріз Берегівського рудного району складений тріас-юрським складчастим фундаментом і неогеновим вулканогенно-осадовим чохлам. Міоценова вулканогенно-осадова товща складена з трьох горизонтів ріолітових туфів (нижнього, середнього, верхнього), розділених двома теригенними товщами (нижньою та верхньою). Родовища рудного району належать до адуляр-серицитового типу епітермальних родовищ.

Рудні тіла Берегівського рудного поля на верхніх горизонтах представлені штокверками, на нижніх – жильними тілами сульфідного, кварц-сульфідного, барит-кварцо-

вого складу. Метасоматичні зміни, розвинуті на нижніх горизонтах, – це альбітизація та калішпатизація, на верхніх – аргілізитові зміни різного ступеня. Рудні тіла Мужівського родовища сформувалися в чотири стадії: I – сульфідну; II – кварц-баритову; III – карбонат-кварцову; IV – карбонат-гетитову [10]. З другою, кварц-баритовою стадією пов'язане утворення золотої мінералізації.

Біганське родовище має чітко виражену вертикальну зональність. У верхній його частині є зона, складена барит-алунітовими покладами, які з глибиною замінені баритовими, а на більших глибинах – поліметалевими рудами. Руди складені сфалеритом, галенітом, піритом, халькопіритом. На відміну від Берегівського родовища, тут значно менше золота і водночас досить підвищені концентрації срібла, яке міститься у пруститі, аргентиті й інших срібноносних мінералах. Жильні мінерали представлені кварцом, каолінітом і карбонатами. Вмісні породи тут менше окварцьовані й калішпатизовані, ніж на Берегівському родовищі.

Методика досліджень. Головним методом, застосованим у праці, був онтогенічний метод мінералогії, який полягає в аналізі анатомії мінеральних індивідів та вікових взаємовідношень між ними для з'ясування кристалізаційної історії мінеральних агрегатів і мінеральних тіл [13]. Критерії послідовного росту ґрунтуються на аналізі розподілу центрів зародження індивідів у просторі та аналізі меж між ними, до яких застосовують головний принцип стратиграфії: кожен перекривний шар молодший від попереднього.

Конституцію індивідів, мікроструктуру агрегатів вивчали за допомогою електронної мікроскопії та катодолюмінесцентного аналізу. Катодолюмінесцентний аналіз проводили електронним сканувальним мікроскопом REMMA 120-02 у науково-технічному центрі низькотемпературних досліджень Львівського національного університету імені Івана Франка з використанням катодолюмінесцентного детектора з довжиною хвилі від 400 до 650 нм. Взірці у вигляді полірованих пластинок напилювали вуглецем для запобігання накопиченню електричного заряду протягом дослідження. Швидкість сканування променя – 20 с з роздільною здатністю 1024×860 пікселів, 256 відтінків сірого. Напруга і струм електронного променя – 30 кВ і 200 нА, відповідно.

Описуваний метод використовують для дослідження складу і структури мінералів, їхніх генетичних характеристик і типоморфних властивостей, він допомагає реконструювати перебіг мінералоутворювальних процесів. Його застосовують як інструмент для виявлення ростової зональності або відмінностей у будові кристалів різних генерацій, не помітних під оптичним мікроскопом.

Для відтворення перебігу процесу мінералоутворення використано числове фізико-хімічне моделювання. Модельний експеримент дає змогу вивчати такі об'єкти, прямий експеримент над якими складний, економічно не вигідний або неможливий. Під час числового моделювання використано програмний пакет CHILLER [14, 15, 16], у якому, пов'язуючи серію розрахунків для заданих змін загального складу системи, чи температури, чи тиску, можна створити фізико-хімічну модель динамічних геохімічних процесів. Метод ґрунтується на принципах часткової рівноваги залежно від зміни незалежних параметрів стану. Фізико-хімічне моделювання виконують як серію обчислень рівноважного стану досліджуваної системи. Підхід до моделювання фізико-хімічної еволюції систем будується за принципом локальної рівноваги, у якому приймають, що незворотний процес природного відкладення мінералів можна розбити на низку елементарних етапів, для яких виконуються умови термодинамічної рівноваги. За стехіометричним принципом фізико-хімічну еволюцію описують фіксованим набором хімічних реакцій,

тобто розглядають певний сценарій перебігу процесу, записаний у наперед заданий список стехіометричних рівнянь реакцій. Систему рівнянь розв'язують за допомогою комп'ютера методом Ньютона–Рафсона, що потребує початкового введення молярності кожного компонента системи і маси кожного з насичених мінералів. У ході числового моделювання реалізовували такі типи моделей, як взаємодія порода–розчин та змішування з охолодженням.

Будова барит-кварцових агрегатів з алунітом. Жильні тіла барит-кварцового складу Берегівського рудного поля мають зональну будову. Найбільший об'ємний відсоток у жилах становить кварц. У периферійних частинах жил локалізований флюорит у вигляді дрібно-, середньокристалічних агрегатів, а в центральних ділянках розміщений барит у вигляді смугастих зон у кварцовій масі. Кварц звичайно має тонкозернисту структуру з ділянками, де розвинуті агрегати від дрібно- до крупнокристалічних.

Макроскопічно алуніт не відрізняється від вмисного тонкозернистого кварцу і стає помітним лише під мікроскопом. Алунітові тонкокристалічні агрегати маркують підвідні канали у масі жильного кварцу та локалізовані в порожнинах (рис. 2), які вони повністю екранують у вигляді друзових виділень з ідіоморфними кристалами. Характер зон алунітових виділень чітко січний щодо кварцових агрегатів. Завдяки ростовій зональності індивідів алуніту (рис. 3) добре простежується їхній напрям росту і те, що вони наростили на раніше утворені баритові таблитчасті індивіди. Розмір індивідів алуніту не перевищує 250 мкм. Катодолюмінесценція алуніт-барит-кварцових індивідів засвідчила, що алуніт має слабке катодолюмінесцентне світіння (рис. 3, б). Барит виявляє яскраві катодолюмінесцентні властивості лише в тонкій периферійній зоні своїх індивідів, яка має потужність близько 10 мкм (див. рис. 3, б).

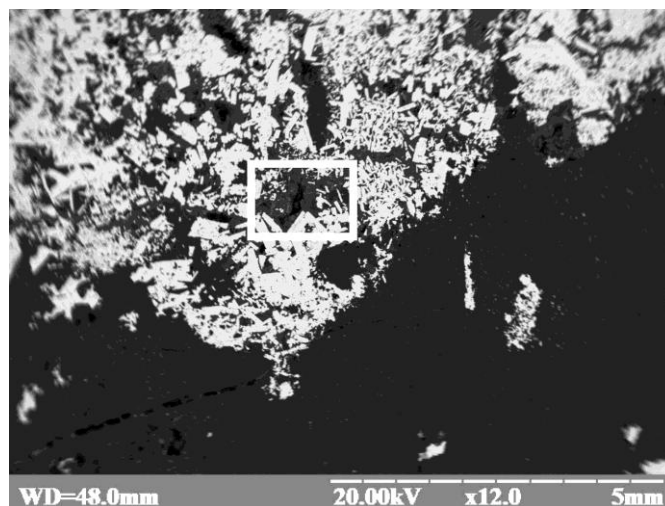


Рис. 2. Барит-кварцовий агрегат з алунітом Берегівського рудного поля. BSE-зображення (кварц темно-сірий, барит білий). Алуніт локалізований навколо каналів фільтрації, один з яких позначений прямокутником. Рудне тіло XIV, горизонт +130 м.

Будова алуніт-баритових агрегатів з кварцом Біганського родовища має риси подібності до описаних вище агрегатів Берегівського рудного поля. Січні звивисті зони розвитку алуніту перерізають кварцові агрегати з баритом (рис. 4). Допомогає спостерігати

цей ефект катодолумінесцентне світіння (див. рис. 4, б). В середині зони алуніту помітна значна кількість дрібних порожнин. Як і на Березівському рудному полі, баритовим індивідам Біганського родовища властиве світіння в катодних променях і, що характерно, у своїх периферійних ділянках (рис. 5). Будова агрегатів кварцу, виявлена за допомогою катодолумінесценції, представлена метаколоїдними структурами розкристалізації гелю кремнезему. Передусім, це нерівномірна смугастість, полігональний характер ділянок яскравого світіння тонкозернистого кварцу і наявність сферул (див. рис. 5, б).

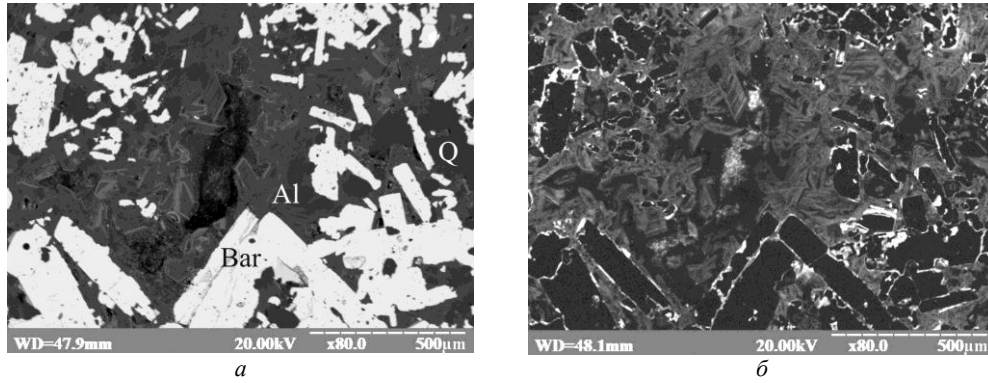


Рис. 3. Збільшений фрагмент, виділений прямокутною рамкою на рис. 2:
a – BSE-зображення, *б* – катодолумінесцентне зображення.
 Позначення: Al – алуніт, Bar – барит, Q – кварц.

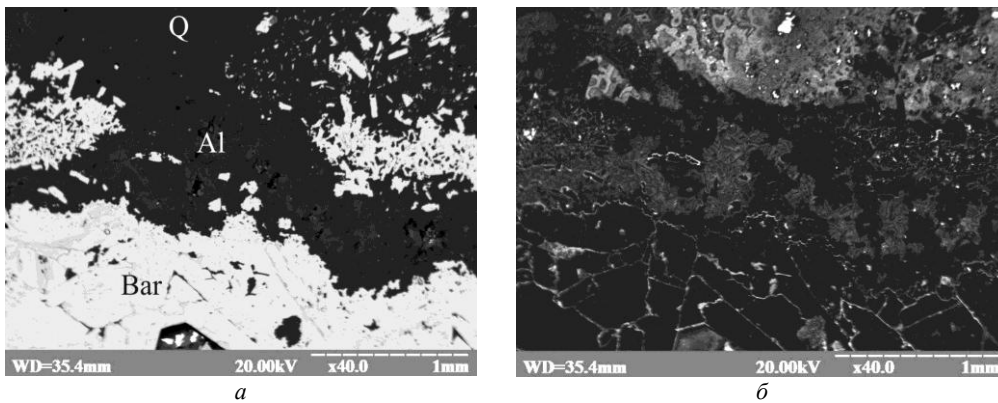


Рис. 4. Барит-кварцовий агрегат з алунітом
 (верхня частина барит-алунітової зони Біганського родовища):
a – BSE-зображення, *б* – катодолумінесцентне зображення.

Онтогенез алуніт-баритових агрегатів. Кварц у жилах Березівського рудного поля відкладався з гелю кремнезему, частково – зі справжніх розчинів [11]. Структурні особливості кварцу Біганського родовища, подібні до спостережених у кварці Березівського рудного поля, дають підстави стверджувати, що й тут було осадження кварцу з гелів. Утворенню гелю в гідротермальній системі сприяло змішування розчинів відмінного складу [11]. На Біганському родовищі руди й жильні мінерали формувалися, ймовірно, завдяки такому ж механізмові.

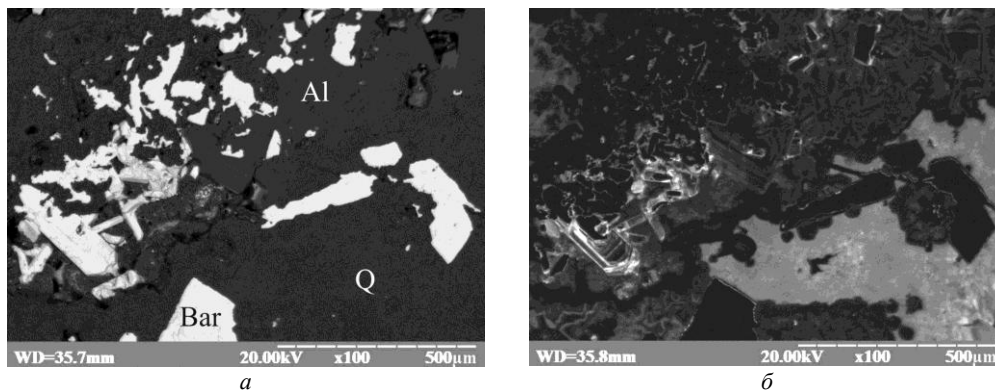


Рис. 5. Барит-кварцовий агрегат з алунітом
(верхня частина барит-алунітової зони Біганського родовища):
a – BSE-зображення, *б* – катодолумінесцентне зображення.

Те, що алуніт на обох родовищах у вигляді щільних тонкокристалічних агрегатів і друз локалізований навколо каналів фільтрації у кварцовій масі або ж займає січне положення стосовно агрегатів кварцу з баритом, свідчить про вторинний, пізніший характер його утворення в часі щодо первинних кварцу і бариту. Очевидно, що розчини, з яких відкладався алуніт, частково розчиняли індивіди бариту та спричиняли перекристалізацію його периферійних зон, про що свідчить виникнення тонких облямівок катодолумінесцентного світіння в бариті. Найімовірніше, ті ж самі розчини частково розчиняли й кварц, вивільняючи місце для новоутворених агрегатів алуніту.

Як відомо, поява алуніту свідчить про кислий характер метасоматичних змін, завдяки яким формуються аргілізитові породи [6]. Поява алуніту на глибоких горизонтах ілюструє дію мінералоутворювальних кислих розчинів, які мали змогу проникати в ослаблені ділянки порових каналів жильного тіла. Порожнини є закономірною частиною такої побудови; кристалізація в них відбувається доти, доки може циркулювати розчин.

За [11], мінералоутворення кварцу, бариту й флюориту Берегівського рудного поля відбувалося внаслідок змішування розчинів глибинного походження та приповерхневих формаційних вод кальдерного озера. Оскільки процес утворення алуніту в жильних тілах розірваний у часі, то можливо, що механізм його утворення так само відповідає процесу змішування гідротермальних розчинів, проте вже в іншій пропорції.

Числове фізико-хімічне моделювання осадження алуніту й бариту. Під час числового моделювання осадження кварцу ми використали модель двостороннього бар'єра, до якого з різних боків рухаються розчини глибинного й приповерхневого походження.

Приповерхневі – формаційні розчини – це розчини, поховані в осадових відкладах кальдерного озера [10]. Метеорні води надходили в гідротермальну систему з земної поверхні. За ізотопними даними виявлено [18], що глибинний розчин – це метеорний розчин глибинної циркуляції, урівноважений з ріолітовими туфами. У модельних побудовах ми спираємось на дані, одержані під час дослідження флюїдних включень мінералів [10, 11].

Початковий етап моделювання передбачав створення двох розчинів, які було використано в подальшій реакції. Іонний склад розчинів, визначений за температурою евтектики [11], і значення солоності флюїдних включень мінералів [11], визначені за допомогою кріометричного методу, взято за основу вибору концентрацій елементів модельова-

них розчинів. А температурний інтервал гомогенізації флюориту, бариту й кварцу [11] слугував репером для визначення початкової температури розчинів.

Концентрації компонентів розчину наведено в розрахунку на 1 кг води. Значення рН та $\log fO_2$ у розчинах буферували з використанням реакцій розчинення–осадження речовини. Для з'ясування кислотності та окисно-відновного потенціалу, які б відповідали природним аналогам палеосистеми, у водний розчин додавали мінеральні буфери, які розчинялися. Після досягнення рівноваги в системі тверда фаза–розчин змінюється хімічний склад, рН та $\log fO_2$ розчину, а надлишкова речовина виводиться у тверду фазу, становлячи асоціацію вторинних мінералів, щодо яких водний розчин насичений. На кожному кроці взаємодії мінерального буфера і водного розчину відбувається накопичення в розчині компонентів мінералу, які розчиняються, та виділення нових (другорядних) фаз. Розчин буде врівноважений з мінеральним буфером тоді, коли в осад випадуть мінеральні фази, якими його титрували. У цьому разі імітується ситуація зміни складу та кислотності гідротермального розчину під час реакції з навколишніми породами.

Солоність розчину визначена фоновим складом електролітів, її перевіряють температурою танення останнього кристала льоду водно-сольової системи – за сумарною концентрацією хлоридів натрію. Отже, солоність “глибинного” модельованого розчину була 4 мас. % NaCl-екв. Значення окисно-відновного потенціалу цього розчину буферували парою мінералів – піритом і піротином, після врівноваження $\log fO_2$ розчину становив $-40,38$. Створений розчин урівноважено з мікрокліном і мусковітом за температури $235\text{ }^\circ\text{C}$, що імітувало реакцію глибинного розчину з навколишніми туфами в міру просування його з глибини. Найзвичайніша форма метасоматичних змін, відомих у природі, – це реакція калієвого польового шпату з водою, унаслідок якої утворюється мусковіт або серицит [17]:



З наведеної реакції бачимо, що з однієї молекули польового шпату утворюються дві молекули кремнезему. Після реакції титрування мікрокліном модельний глибинний розчин врівноважився з мусковітом, мікрокліном і кварцом, його рН досягнуло значення $6,28$ (слабко кисле, майже нейтральне значення за температури $235\text{ }^\circ\text{C}$ [8]). Моляльність розчинених компонентів глибинного розчину після врівноваження з переліченими мінералами наведена у таблиці.

Другий модельний розчин, екзогенного походження, імітував формаційні води з підвищеною солоністю – 10 мас. % NaCl-екв. Розчин перебував у рівновазі з алунітом і піритом за температури $100\text{ }^\circ\text{C}$, його рН становило $3,28$. Редокс-потенціал цього розчину ($\log fO_2 = -48,75$) визначено за допомогою пірит-гематитового буфера. Моляльна концентрація йонів та молекул формаційного розчину наведена в таблиці.

Кінцевий, вирішальний етап моделювання передбачав змішування розчинів. Два розчини – глибинний нейтральний і кислий формаційний – поступово змішувалися між собою. Під час змішування температура загальної суміші знизилась від 235 до $102\text{ }^\circ\text{C}$, цей інтервал відповідає пропорції 1:30 глибинного до екзогенного розчину; рН системи знизилосся від $6,28$ до $3,27$; $\log fO_2$ зменшився від $-40,38$ до $-49,00$. Результати моделювання зображено на рис. 6.

На першому кроці титрування до 1 кг “глибинного” розчину додали 100 г “формаційного”, температура в цьому разі знизилася з 235 до $230\text{ }^\circ\text{C}$, рН і $\log fO_2$ незначно знизилися, з розчину почали осаджуватись барит і пірит (див. рис. 6). Наявність піриту свідчить про те, що процес відбувався в полі стабільності існування цього мінералу.

Коли значення рН знизилося до 4,4 за температури 197 °С, з розчину почав осаджуватись каолінит. Цей момент потребував додавання 0,5 кг “формаційного” розчину до 1 кг глибинного. Алуніт у системі мінералоутворення з’явився під час додавання 13 кг “формаційного” розчину, у цьому разі кислотність зросла до значення рН 3,27, а температура знизилась до 109 °С. У момент появи алуніту барит зникає з системи, припиняє осаджуватись (див. рис. 6). Коли пропорція змішування “глибинного” розчину до “формаційного” становила 1:30, експеримент числового моделювання було припинено, температурне значення тоді досягло 102 °С.

Молярність іонів та нейтральних молекул розчинних сполук у системі моделювання

Компоненти системи	Глибинний розчин, урівноважений з мікрокліном, мусковітом і кварцом ($T = 235\text{ }^{\circ}\text{C}$; $\text{pH} = 6,28$; $\log f_{\text{O}_2} = -40,38$)	Формаційний розчин, урівноважений з алунітом, піритом і кварцом ($T = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$; $\text{pH} = 3,28$; $\log f_{\text{O}_2} = -48,75$)
H^+	,827008733E-03	,827008733E-03
Cl^-	,801263226E+00	,180347377E+01
SO_4^{2-}	,368723455E-04	,480820652E-02
HCO_3^-	,106000000E-05	,106000000E-05
HS^-	,275108807E-02	,547552175E-07
SiO_2	,220891907E-02	,583742830E-03
Al^{3+}	,491035081E-05	,453050020E-03
Ca^{2+}	,141000000E-08	,465184163E-01
Fe^{2+}	,262244451E-07	,444613143E-03
K^+	,990869647E-02	,221736225E-02
Na^+	,790888198E+00	,171476154E+01
Ba^{2+}	,800900000E-03	,900000000E-07

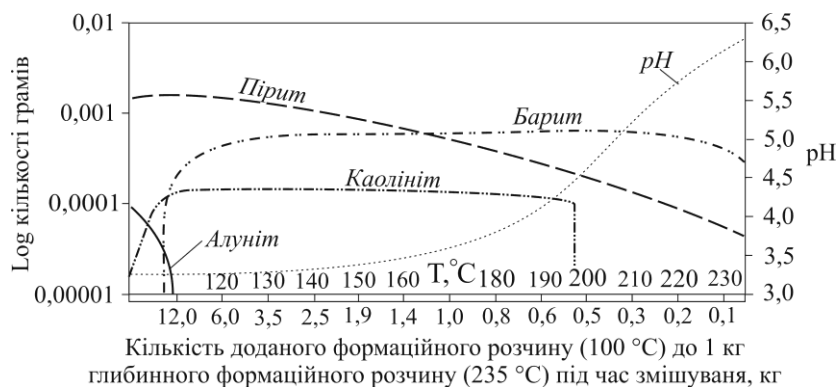


Рис. 6. Розрахункова модель осадження кварцу під час змішування розчинів. Зміни значень рН показані на допоміжній осі.

Виконане числове моделювання з достатнім ступенем достовірності дало змогу верифікувати гіпотезу про утворення бариту й алуніту під час єдиного мінералоутворювального процесу. Ці мінерали формувалися внаслідок єдиного процесу змішування розчинів різного складу й походження. Потрібно було додати до “ендогенного” розчину певну кількість “формаційного”, щоби змістити рівновагу в бік кислотності, яка б дала змогу утворитись та існувати в розчині алуніту. Процес осадження двох мінералів був

розірваний у часі. Алуніт осаджувався пізніше від бариту, що власне й фіксують за допомогою мікроскопічних досліджень.

Отже, зіставлення структурних особливостей агрегатів різних родовищ Берегівського рудного району дало змогу виявити загальні для них особливості, властиві їм на певній стадії розвитку гідротермального процесу. Досліджуваний парагенезис жильних алуніту й бариту відбиває історію їхнього зародження, розірваного в часі. Надходження кислих формаційних розчинів у систему мінералоутворення, насичену кремнеземом, на початковій стадії сприяло утворенню бариту. Поступове надходження тих самих вод у більшій кількості змінило геохімічні параметри системи в бік зростання кислотності та зниження температури. Ці умови сприяли зародженню й кристалізації алуніту. Розвиток алуніту відбувався одночасно з перекристалізацією периферійних зон індивідів бариту й частково кварцу, що виявлено завдяки катодолюмінесцентному світінню. Розчинення кварцу супроводжувалось розчиненням золота, похованого у прихованокристалічних агрегатах кварцу, з наступним винесенням його на верхні горизонти, де воно перевідкладалося у штокверкових рудних тілах.

1. Алуніти Закарпаття / Ю. А. Лейе, М. А. Клитченко, А. К. Авгітов [и др.]. – М. : Недра, 1971.
2. Лазаренко Е. К. Минералогия Закарпаття / Е. К. Лазаренко, Є. А. Лазаренко, О. А. Малыгина. – Львов : Изд-во Львов. ун-та, 1963.
3. Лазаренко Е. О. Метасоматичні утворення у вулканічних породах Закарпаття / Е. О. Лазаренко. – Львів : Вид-во Львів. у-ту, 1960.
4. Матковський О., Павлишин В., Сливко Є. Основи мінералогії України : [підручник] / О. Матковський, В. Павлишин, Є. Сливко. – Львів : Видавничий центр ЛНУ ім. Івана Франка, 2009.
5. Науменко В. В. Вулканогенное рудообразование в Паннонском срединном массиве / В. В. Науменко, А. Ф. Гончарук, Ю. М. Коптюх. – Киев : Наук. думка, 1986.
6. Некрасов И. Я. Геохимия, минералогия и генезис золоторудных месторождений / И. Я. Некрасов. – М. : Наука, 1991.
7. Пиотровский Г. Л. Об алуните из Береговского района в Закарпатье / Г. Л. Пиотровский // Минерал. сб. – 1947. – № 1. – С. 44–53.
8. Рыженко Б. Н. Реперные точки нейтральности окислительно-восстановительных и кислотно-основных свойств водных растворов в области параметров гидротермального рудообразования / Б. Н. Рыженко, О. В. Брызгалин // Геохимия. – 1984. – № 7. – С. 1056–1061.
9. Сасин Г. Г. Генетические типы алунитовой минерализации Берегово-Беганского района Закарпаття / Г. Г. Сасин // Проблемы геологии и рудоносности неогена Закарпаття. – Берегово, 1966.
10. Скакун Л. З. Мінералого-генетична модель Мужівського золото-поліметалічного родовища (Закарпаття) : автореф. дис. ... канд. геол.-мін. наук / Скакун Леонід Зіновійович. – Львів, 1994.
11. Словотенко Н. О. Онтогенез флюорит-барит-кварцових жил Берегівського рудного поля : автореф. дис. ... канд. геол. наук / Словотенко Надія Олександрівна. – Львів, 2007.

12. Чесноков Б. В. Относительный возраст минеральных индивидов и агрегатов / Б. В. Чесноков. – М. : Недра, 1974.
13. Kováč M. Geodynamický, paleogeografický a štruktúrny vývoj Karpatsko-Panonskeho Regiónu v Miocéne: Nový pohľad na neogénne panvy Slovenska / M. Kováč. – Bratislava, 2000.
14. Reed M. H. Calculation of multicomponent chemical equilibria and reaction processes in systems involving minerals, gases and an aqueous phase / M. H. Reed // *Geochim. et Cosmochim. Acta.* – 1982. – Vol. 46. – P. 513–528.
15. Reed M. H. Calculation of pH and mineral equilibria in hydrothermal waters with application to geothermometry and studies of boiling and dilution / M. H. Reed, N. F. Spycher // *Geochim. et Cosmochim. Acta.* – 1984. – Vol. 48. – P. 1479–1492.
16. Reed M. H. SOLTERM, data base. A computation of thermodynamic data from 25 °C to 300 °C for aqueous species, minerals and gases / M. H. Reed, N. F. Spycher. – Eugene, Oregon, Dept. Geol. Sci., Univ. Oregon, 1987.
17. Robb L. Introduction to ore-forming processes / L. Robb. – Blackwell Publishing, 2005.
18. Vityk M. O. Fluid evolution and mineral formation in the Beregovo gold-base metal deposit, Transcarpathia, Ukraine / M. O. Vityk, H. R. Krouse, L. Z. Skakun // *Econ. Geol.* – 1994. – Vol. 89. – P. 547–565.

ALUNITE AND BARITE INTERRELATION IN HYDROTHERMAL VEINS OF BEREGOVE ORE REGION

N. Slovotenko, L. Skakun, R. Serkiz

*Ivan Franko National University of Lviv
Hrushevskiyi St. 4, UA – 79005 Lviv, Ukraine
E-mail: mineral@franko.lviv.ua*

The sequence and conditions of alunite and barite formation in vein bodies of the Beregove ore region have been determined. The main physical and chemical factors which define the mechanism and sequence of their formation have been established: 1) chemical composition of the mineral forming solutions, generated during reaction of rock and water; 2) acidity–alkalinity of solutions; 3) oxidation–reduction potential of solutions; 4) their temperature; 5) ratio of the reacting weights solutions. Mechanism of minerals formation is a mixing of the solutions of different origin, structure and temperature on a geochemical barrier.

Key words: alunite, barite, epithermal system, vein, cathodoluminescence, numerical physical and chemical modelling, Beregove ore region, Ukraine.

**СООТНОШЕНИЯ АЛУНИТА И БАРИТА
В ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ ЖИЛАХ БЕРЕГОВСКОГО РУДНОГО РАЙОНА**

Н. Словотенко, Л. Скакун, Р. Серкіз

*Львовский национальный университет имени Ивана Франко
79005 г. Львов, ул. Грушевского, 4
E-mail: mineral@franko.lviv.ua*

Определено последовательность и условия образования алунита и барита в жильных телах Береговского рудного района. Установлено главные физико-химические факторы, определяющие механизм и последовательность их формирования: 1) химический состав минералообразующих растворов, сформированный в ходе реакции породы и воды; 2) кислотность–щелочность растворов; 3) окислительно-восстановительный потенциал растворов; 4) их температура; 5) отношения реагирующих масс растворов. Механизм формирования минералов – смешивание растворов разного происхождения, состава и температуры на геохимическом барьере.

Ключевые слова: алунит, барит, эпитермальная система, жила, катодоллюминесценция, числовое физико-химическое моделирование, Береговский рудный район, Украина.

Стаття надійшла до редколегії 23.09.2011

Прийнята до друку 09.11.2011