

УДК 553.411

**ФІЗИКО-ХІМІЧНІ УМОВИ МІНЕРАЛОУТВОРЕННЯ
БАРУН-ХОЛБИНСЬКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО РОДОВИЩА
(СХІДНИЙ САЯН)**

Т. Павлюк

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

Результати детального геолого-структурного, мінералого-генетичного та термобарогеохімічного дослідження Барун-Холбинського золоторудного родовища дали змогу зачислити його до пневматолітово-гідротермальних, мезотермальних утворень середніх глибин. Зруденіння формувалося в широкому діапазоні температури (500–70°C) і тиску (160–60 МПа). Золото відкладалося при температурі 260–200°C.

Ключові слова: золоте зруденіння, термобарогеохімія, включення, стадія мінералоутворення

Досвід комплексного дослідження золоторудних полів у різних геотектонічних зонах засвідчує, що ефективно і своєчасно проблему геолого-генетичної типізації та перспективної оцінки золотого зруденіння можна вирішити за допомогою спеціалізованого застосування арсеналу методів сучасної термобарогеохімії. Це дає змогу пізнати кардинальні закономірності часової еволюції фізико-хімічних умов утворення родовищ золота [1–4].

Барун-Холбинське родовище є складовою частиною Урік-Китойської золотоносної металогенічної зони, що розташована у системі каледонід Східного Саяну, у центральній частині субширотного Гарган-Бутугольського антиклінорію.

У геологічній будові Барун-Холбинського родовища беруть участь архей–нижньопротерозойські гнейсо-граніти, які становлять ядро великої антиклінальної складки північно-західного простягання. Крила цієї структури утворені карбонатними породами і сланцями монгошинської та ільчинської світ рифею–венду і в районі родовища падають майже вертикально. Осадково-метаморфічні породи прориваються плагіогранітами та гранодіоритами холбинського інтрузивного комплексу, датованого ордовик–силуром*. Крила та осьова частина антикліналі ускладнені крутоспадними поздовжніми розривними порушеннями зсувного та скидо-зсувного характеру.

Рудні тіла досліджуваного родовища розташовані безпосередньо у зоні впливу Улан-Сардазького розлому, що простежується від вершини гори Улан-Сардаг на північний захід до верхів'я р. Барун-Холба і має досить складну будову. Численні субпаралельні зони розсланцювання, дроблення та березитизації утворюють грабе-

© Павлюк Т., 2000

* Роцектаев П.А., Попадюк И. Ф., Лукьянова Т.В. и др. Зун-Холбинское месторождение золота (результаты предварительной разведки глубоких горизонтов) // Отчет о работе Зун-Холбинской ГРП за 1980–1984 гг. (фонды Бурятского ГУ, Улан-Удэ). 1984. Т.1.

нову структуру в масиві вивержених та перешарованих осадово-метаморфічних порід (вапняків, вуглисто-кременистих чи зелених сланців, метапісковиків і кварцитів). У зоні розлому зафіксовано серію крутоспадних дайок і малих інтрузивів холбинського комплексу, що свідчить про значну глибину закладання цієї розривної структури. Виділяють чотири морфогенетичні типи рудних тіл: перший – складно побудовані та інтенсивно зім'яті пачки сульфідизованих золотоносних сланців вуглисто-кременистого чи хлорит-серицит-кварц-карбонатного складу; другий – крутоспадні сульфідні або кварц-сульфідні лінзоподібні поклади; третій – різні за формою малосульфідні та кварцові жильні тіла; четвертий – золотоносні мінералізовані породи типу зон прожилково-вкрапленого зруденіння, що не мають чіткої межі зі змісними породами.

Просторове положення різних за морфологією типів рудних тіл у структурі родовища має певну закономірність, згідно з якою на нижніх горизонтах родовища частіше трапляються рудні тіла першого типу (рясносульфідизовані пачки порід), на середніх – другого та третього (лінзоподібні утворення та жили), а на верхніх горизонтах – рудні тіла четвертого типу (мінералізовані зони).

Результати комплексних геолого-мінералогічних, термобарогеохімічних і термоелектричних досліджень барун-холбинських руд допомогли з'ясувати послідовність розвитку мінералоутворення та фізико-хімічні умови формування руд і в такий спосіб обґрунтувати генезис родовища. Добре виражена мінералогічна контрастність руд та результати вивчення включень у мінералах дали змогу виділити 11 парагенетичних мінеральних асоціацій: молібденіт-кварцову, турмалін-кварцову, піротин-кварцову, хлорит-карбонат-кварцову, пірит-кварцову, кварц-карбонатну (ранню), кварц-галеніт-сфалерит-піритову, кварц-галеніт-сфалеритову, кварц-халькопірит-бляклорудну, кварц-барит-карбонатну, кварц-карбонатну (пізню).

Виявлені асоціації мінералів утворюють п'ять мінеральних комплексів, які є речовинною основою барун-холбинських руд. Кристалізація мінералів супроводжувалася консервацією в них сингенетичних включень мінералотворних флюїдів. Нижче мінеральні комплекси та сингенетичні з ними групи включень описані у послідовності їхнього утворення.

Молібденіт-кварцовий комплекс мінералів. Головними мінералами у складі комплексу є кварц-I і молібденіт; у межах Барун-Холбинського родовища вони поширені локально.

Кварц-I – ясно-сірий до сірого, середньозернистий, масивної текстури.

Молібденіт трапляється не тільки у кварцових жилах, а й у гідротермально зміненних граніт-аплітах, що просторово тісно асоціюють з ними. Розмір скупчень молібденіту досягає 12–15 мм (частіше 5 мм). Іноді у жильному кварці та граніт-аплітах молібденіт утворює дрібні порошкоподібні виділення.

Флюїдні включення, сингенетичні з кварцом-I (перша генерація включень*), трапляються зрідка. Це, зазвичай, азональні включення, що простежуються у вигляді невеликих об'ємних “роїв”, чи поодинокі включення, не приурочені до тріщин. Розміри їхні різні: від 0,001 до 0,005 мм уздовж вакуолі, наповнення – від 40 до 70 % об'єму вакуолі. За даними візуальної мікроскопії, концентрація флюїдів, що сформували цей комплекс мінералів, була достатньо високою. Такий висновок ґрунтується на кількісній оцінці твердої фази у включеннях, яка займає ~30 %

* Тут і далі “генерація включень” у тлумаченні І. В. Попівняка [5].

об'єму вакуолей. Гомогенізація включень першої генерації відбувалась як у рідку, так і в газову фази (температура 500–420°C).

Вторинні включення у кварці-I приурочені до залікованих тріщинок. Фазовий склад цих накладених включень достатньо різноманітний. Їхня гомогенізація відбувалась при різній температурі (від 400 до 120°C).

Турмалін-кварцовий комплекс мінералів поширений локально. Його речовинною основою є кварц-II і турмалін.

Кварц-II – головний мінерал комплексу. Він представлений середньозернистими утвореннями молочно-білого, рідше ясно-сірого кольору. Текстура масивна. Характерною його особливістю є своєрідний яскравий блиск. Привертає увагу витриманий розмір зерен, що у середньому становить 2–3 мм і не перевищує 5–7 мм. Зазначимо, що іноді в асоціації з турмаліном трапляються молочно-білі та сірі різновиди кварцу, які мають матову поверхню.

Турмалін (дравіт і шерл) простежується у вигляді скупчень дрібних (до 5 мм завдовжки і до 1 мм у поперечному розрізі) призматичних кристалів. Подекуди трапляються “турмалінові сонця”. За співвідношенням цього мінералу і кварцу-II можна зробити висновок, що їхня кристалізація відбувалась майже одночасно.

Карбонат-I (анкерит) наявний у вигляді дрібнокристалічних щіткоподібних утворень між зернами кварцу-II.

Флюїдні включення, сингенетичні з мінералами цього комплексу (друга генерація включень), належать, зазвичай, до багатозафазових. На відміну від твердої фази включень першої генерації, тверда фаза цих включень має чітке кристалографічне огранювання і не перевищує 5–10 % об'єму вакуолі. Під час їхньої гомогенізації розчинення твердої фази тривало до зникнення газової фази. Тверда фаза ідентифікована як NaCl. Вміст газової та рідкої фаз коливається в широкому діапазоні. Наповнення включень різне – від 15 до 90%. Гомогенізація включень (з наповненням 50–65 %) відбувалась при температурі 485–380°C за першим типом. Включення, у яких вміст газової фази перевищував 60–80 % об'єму вакуолей, гомогенізувались у газову фазу при температурі, що перевищує діапазон 420–385°C. Очевидно, при температурі, що перевищувала 480–435°C, розчини конденсувались, оскільки гомогенізація включень у цьому інтервалі відбувалась з кристалізацією.

У середньому загальна характеристика хімічного складу розчинів, отримана в результаті аналізу водних витяжок з первинних і, частково, вторинних включень, поширених у кварці-II, має такі співвідношення катіонів і аніонів, %-екв.: натрій – 76,9; калій – 11,5; кальцій – 7,7; стронцій – 3,9; гідрокарбонат-іон – 2,6; хлор – 33,3 та гідросилікат-іон – 64,1. Немає літію, магнію, заліза, фтору та сульфат-іона. Отже, водні витяжки з включень, що законсервовані у кварці-II, мають гідросилікатно-хлоридно-натрієвий склад з суттєвим вмістом калію та кальцію; рН водної витяжки 6,28–6,30.

Уздовж залікованих тріщинок у кварці-II поширені епігенетичні (вторинні) включення різного складу і з неоднаковим наповненням. Опис цих включень наведений нижче, оскільки вони належать до наступних генерацій.

*Попивняк И. В., Зирченко Ю. П. Физико-химические условия формирования золото-серебряных руд юго-восточной части Восточного Саяна // Отчет о науч.-исслед. работе. На правах рукопису в фондах НДЧ Львівського національного університету імені Івана Франка.

У підсумку можна зазначити, що мінерали турмалін-кварцового комплексу утворювалися з висококонцентрованих гідросилікатно-хлоридно-натрієвих флюїдів, які мали суттєвий вміст калію і кальцію, при температурі понад 500–380°C.

Пірит-кварцовий комплекс мінералів формувався після тривалої перерви у мінералоутворенні за умов поновлення досить інтенсивних тектонічних рухів, які зумовили відновлення раніше закладених і формування нових тріщинних систем. Це спричинило порушення термодинамічної рівноваги і сприяло виникненню низки стійких парагенетичних асоціацій мінералів.

На підставі вивчення структурно-текстурних співвідношень, а також термобаричних характеристик мінералів та їхніх груп у складі цього комплексу впевнено виділено чотири стійкі асоціації мінералів: піротин-кварцову, хлорит-карбонат-кварцову, кварц-піритову та кварц-карбонатну (ранню). Перелічені мінеральні асоціації поширені у межах Барун-Холбинського родовища. Вони відіграють головну роль у складі жильного виповнення більшості рудних тіл. Подекуди ці асоціації накладені одна на одну і просторово суміщені. Нерідко мінерали кожної з них утворюють самостійні прожилки й жили.

З метою чіткості викладення матеріалу розглянемо ці асоціації мінералів у складі єдиного комплексу. Головними мінералами комплексу є кварц-III та пірит-I. У різко підлеглий кількості трапляються піротин, серицит, хлорит і карбонат-I. Зародки карбонату-I з'являлися двічі: після завершення відкладення хлорит-карбонат-кварцової асоціації мінералів (карбонат-Ia) та у процесі відкладення кварц-карбонатної (ранньої) асоціації (карбонат-Iб).

Кварц-III поширений на всіх рівнях ерозійного зрізу родовища. Він утворює прожилки та самостійні жили. Структура кварцу-III нерівномірнозерниста, текстура звичайно масивна. В ділянках накладання пізніших рудних мінералів утворювалися вкраплені текстури. Рудні мінерали пізніших мінеральних комплексів найінтенсивніше накладалися на ранні у ділянках підвищеної тріщинуватості поблизу одного з зальбандів жил. Наслідком цього є часті поступові переходи між кварцом-III і кварцом-IV. Іноді метасоматично змінений кварц-III неможливо відрізнити від кварцу-IV, це потребує мікроскопічного, а іноді й термометричного вивчення включень, які містяться у них.

Піротин асоціює з темнозабарвленим кварцом і поширений головню на нижніх горизонтах Барун-Холбинського родовища. Він буває у вигляді дрібних гнізд і прожилків; зрідка утворює досить значні (до 100–120 мм) лінзоподібні скупчення. У чистому вигляді кварц-піротинова асоціація трапляється зрідка, оскільки пізніші мінерали часто замішують піротин, зберігаючи первісну структуру асоціації; у таких випадках піротин залишається тільки у вигляді реліктів. Декрепітація включень у піротині відбувалася при температурі 540–420°C.

Серицит завжди перебуває у тісній асоціації з ранніми зародженнями кварцу-III. Типові його виділення мають форму неправильних скупчень, розмір яких зрідка перевищує 10 мм у перерізі. Іноді серицит виповнює міжзерновий простір у кварці-III, утворюючи на свіжому його сколі враження примазок. Серицит формувався синхронно з ранніми зародженнями кварцу-III.

Хлорит тісно асоціює з кварцом-III, піритом-I та карбонатом-Iб. Ця асоціація мінералів у прожилках і жилах утворює складні співвідношення, що може свідчити про майже одночасне їх виділення з розчинів. Хлорит іноді трапляється у вигляді облямівки по зальбандах прожилків, однак частіше разом із карбонатом-Iб виповнює їхні центральні частини.

Пірит-I є одним із найпоширеніших раних сульфідів холбинських руд. У деяких рудних тілах він становить 20 % (і понад) жильного виповнення. Пірит-I часто трапляється у кварці-III у вигляді рідкісних, порівняно рівномірно поширених вкраплень кристалів, розмір яких іноді перевищує 2–3 см, а полікристалічні гніздо-подібні скупчення досягають 10–15 см і понад. Кристали піриту-I інтенсивно катаклазовані, порівняно з пізнішою генерацією піриту. Характерними габітусними формами кристалів піриту-I є куб і комбінація октаедра з кубом. На раних кристалах переважає октаедр. Вивчення термоелектричних властивостей піриту-I засвідчує, що він має переважно електронну провідність. Зокрема, термо-е.р.с. піриту-I на гранях куба має крайні значення (-550)–(+50) мкВ/град, а грані {111} – (-150)–(+650) мкВ/град. Очевидно, що під час відкладення пірит-кварцового комплексу мінералів фізико-хімічні умови мінералоутворення часто змінювалися, що спричинювало формування різних кристалографічних форм піриту. Ймовірно, режим сірки та зміна складу елементів-домішок впливали на зміну ретикулярної щільності граней піриту і визначали не тільки його габітусну форму, а й термоелектричні властивості. Декрепітація включень у піриті-I відбувалася при температурі 420–320°C. Ці результати збігаються зі значеннями температури, отриманими методом гомогенізації включень у кварці-III.

Карбонат-II кристалізувався упродовж тривалого часу в межах виділення цього комплексу мінералів. Він буває у вигляді сингенетичних з кварцом-III твердих включень, в одних випадках – правильного ромбодричного огранювання, іноді частково розчинених, що свідчить про їхнє одночасне формування. Карбонат-IIа простежується у вигляді суцільних крупнокристалічних скупчень молочно-білого кольору з рудуватим відтінком, що тісно асоціюють з хлоритом, піритом-I, кварцом-III. Іноді трапляються друзові прожилки, в яких кристали карбонату-I мають добре виражену форму ромбоєдра (розмір кристалів 1–5 мм). Температурний інтервал декрепітації карбонату-II становить 320–240°C.

Включення мінералотворних флюїдів (третя генерація включень) у мінералах цього комплексу значно поширені. До первинних належать включення, що, зазвичай, наближаються за формою до “від’ємного кристала”. Вони розміщені в кристалах у вигляді так званих роїв або утворюють окремі не структуровані у кристали вакуолі розміром 0,007–0,010 мм. Найтиповіші мають наповнення 70–75 % (іноді до 80 %). Суттєво газові включення є найбільш раними і трапляються тільки у раних зародженнях кварцу-III. Вони гомогенізувалися у газову фазу при температурі 480–370°C. У температурному інтервалі 380–370°C гомогенізація включень відбувалася з критичними явищами. Газово-рідинні включення гомогенізувалися за першим типом при температурі 380–270°C.

Сумарну характеристику хімічного складу флюїдів із включень, сингенетичних до кварцу-III, у першому наближенні оцінено за результатами водної витяжки, %-екв.: натрій –36,9; магній – 24,7; кальцій – 22,8; гідрокарбонат-іон – 46,1; гідросилікат-іон – 37,7. Визначено також суттєвий вміст калію (14,2 %-екв.) та хлору (14,4 %-екв.). У незначній кількості водна витяжка містить літій, залізо, сульфат-іон. Цілком не виявлено стронцію, барію, фтору.

Не менш важливим для розуміння розвитку мінералотворних процесів є дослідження газового складу включень (табл. 1). Хроматографічним методом визначено досить низькі значення загальної газонасиченості та вмісту діоксиду вуглецю у кварці-III порівняно з пізнішим продуктивним кварцом.

Таблиця 1

Газовий склад включень кварц-піритової асоціації

Номер проби	Загальна газонасиченість, мл/г	Об'ємна частка, %							Середня газонасиченість, мл/г	Середній вміст CO ₂ , %
		O ₂	N ₂	CO ₂	CO	H ₂	H ₂ S	CH ₄		
<i>Кварц-III</i>										
Ш-3-6	1,96	1,84	8,69	88,95	0,51	–	–	–		
Ш-3-7	1,72	7,54	29,00	60,32	3,13	–	–	–		
Ш-3-18	2,23	1,17	4,93	92,82	1,08	–	–	–	2,00	70,52
Б-2-2	2,59	19,69	57,92	22,39	–	–	–	–		
Б-1-16а	1,49	1,48	8,07	88,10	1,01	1,14	–	0,20		
<i>Пірит-I</i>										
Ш-3-6	5,11	0,38	2,36	87,88	0,75	1,19	7,44	–		
Б-1-1-6	0,84	1,06	5,54	14,18	0,12	–	79,10	–	3,24	55,84
Б-5-5	1,46	2,20	14,42	76,24	0,96	–	6,18	–		
Б-2-4	5,55	20,55	26,32	45,07	0,13	–	7,93	–		

Вторинні включення різної форми і неоднакового наповнення приурочені до залікованих тріщинок. Виникнення їх пов'язане з просяканням кварцу-III пізнішими флюїдами і накладенням на пірит-кварцовий комплекс мінеральних асоціацій пізнішого продуктивного комплексу. Результати дослідження таких включень наведені нижче.

Отже, відкладення мінералів пірит-кварцового комплексу відбувалося з газових, конденсованих і рідких низькоконцентрованих розчинів натрій-магній-гідрокарбонат-гідросилікатного складу при температурі 480–270°C.

Кварц-полісульфідний комплекс мінералів є сукупністю кількох тісних парагенетичних асоціацій, що сформувалися у такій послідовності: кварц-сфалерит-піритова, кварц-сфалерит-галенітова, кварц-халькопірит-бляклорудна та кварц-барит-карбонатна. Відкладенню цього мінерального комплексу, як і попередніх, передували порівняно інтенсивні прояви тектонічних рухів і поновлення тріщинних структур, що визначали шляхи проникнення нових порцій мінералотворних флюїдів і характер поширення продуктивної мінералізації у межах рудних тіл. Мінерали цього комплексу накладені на раніше сформовані жили і зрідка утворюють власні рудні тіла. Продуктивна мінералізація розвивалася переважно у ділянках підвищеної тріщинуватості, що, зазвичай, приурочена до зальбандів жил.

Головними мінералами кварц-полісульфідного комплексу є кварц-IV, пірит-II, галеніт, сфалерит, халькопірит, бляклі руди, самородне золото, карбонат-III та барит. Вікові співвідношення цих мінералів дуже складні. Однак загалом вони визначені послідовністю кристалізації тісних парагенетичних груп мінералів. Нижче описано ці мінерали сумісно у складі кварц-полісульфідного комплексу.

Кварц-IV представлений молочно-білим цукроподібним або ясно-сірим середньозернистим різновидами. Розмір зерен звичайно не перевищує 3–4 мм. Текстура масивна. Детальні спостереження засвідчили, що тонкі прожилки кварцу-IV заліковують малі тріщинки, які утворилися в ранніх генераціях кварцу.

Пірит-II – досить поширений мінерал. Тонкозернисті його агрегати часто виповнюють міжзерновий простір раннього піриту-I. Пірит-II утворює дрібніші індивіди, порівняно з піритом-I. Характерною кристалічною формою виділень піриту-II є

пентагондодекаедр, рідше куб (або октаедр) у комбінації з пентагондодекаедром. Дослідження термо-е.р.с. піриту-II свідчить, що він має переважно дірковий тип провідності. Кристали комбінованої форми мають змішану провідність. Крайні значення генеральної вибірки піриту-II – (-480)–(+670) мкВ/град. Декрепітація включень у піриті-II відбувалася в температурному інтервалі 320–180°C. Структурно-текстурні співвідношення піриту-II зі сфалеритом і галенітом свідчать про те, що він формувався майже одночасно з ранніми виділеннями цих мінералів, хоча і з деякими випередженням. Усі названі мінерали тісно асоціюють між собою, зазвичай утворюючи скупчення складного агрегату, і лише в окремих випадках трапляються у вигляді мономінеральних виділень.

Сфалерит представлений двома різновидами: марматитом і клейофаном. Марматит частіше буває на нижніх горизонтах рудних тіл, тоді як клейофан більше поширений у верхніх ділянках Барун-Холбінського родовища. Іноді марматит “доростає” клейофаном. У ранньому сфалериті часто простежуються емульсійні вкраплення халькопіриту. Температура декрепітації сфалериту 290–160°C.

Галеніт трапляється практично на всіх горизонтах родовища. Він утворює порівняно крупнокристалічні виділення з марматитом і дрібнозернисті скупчення з клейофаном. Цей мінерал кородує і часто перетинає пірит-I. Він має електронну провідність, значення якої змінюються від (-700) до (-70) мкВ/град. Декрепітація включень у галеніті відбувалася у температурному інтервалі 240–200°C.

Халькопірит і бляклі руди. Халькопірит поширений всюди, однак кількісно поступається галеніту, сфалериту і піриту-II. Ранні його виділення пов’язані з формуванням кварц-галеніт-сфалерит-піритової асоціації, де халькопірит утворює емульсійні вкраплення у сфалериті. Проте головна маса халькопіриту кристалізувалася одночасно з бляклими рудами. Отже, тісна асоціація цих мінералів є характерною рисою кварц-полісульфідного комплексу. Генетично пірит, сфалерит, галеніт, а особливо халькопірит і бляклі руди кристалізувалися сумісно з золотом.

Самородне золото утворює дендритоподібні виділення у порожнинах вилуговування сульфідів у кварці. Однак частіше золото трапляється у вигляді лусок розміром 0,01–0,07 мм (за видовженням) сумісно зі сфалеритом, піритом-II і галенітом. Іноді воно утворює дуже тонкі (до 1 мкм) прожилки. Окремі виділення золота разом із галенітом, сфалеритом та іншими сульфідами концентруються у вигляді смужок, субпаралельних до зальбандів жил. Деякі золотини у вигляді “сорочок” містяться на поверхні піриту-I, а інколи дрібні виділення золота заповнюють міжзернові ділянки у породах біляжильного простору. У таких ділянках зони навколожильного метасоматозу наявні промислові кількості золота.

Барит і карбонат-III поширені досить обмежено, здебільшого, на лівобережжі Барун-Холбінського родовища. Основна маса цих мінералів виділилася під час завершення процесу мінералоутворення комплексу у вигляді малопотужних прожилків і дрібнозернистих агрегатів. Кальцит утворює скупчення, серед яких окремі індивіди мають ромбодричний габітус. Барит дрібнокристалічний, молочно-білий.

Сингенетичні з кварц-полісульфідним комплексом включення (четверта генерація включень) часто трапляються у мінералах ранніх комплексів у вигляді ланцюжків уздовж залікованих тріщинок. Вони накладені (вторинні). Первинні включення цієї генерації досліджували у кварці-IV, сфалериті, карбонаті-III. Морфологія та розміри включень суттєво різняться. Фазові співвідношення первинних включень досить різноманітні, що зумовлено частим закипанням мінералотворного флюїду. Характерною особливістю включень цієї генерації є суттєвий вміст у них рідкого

діоксиду вуглецю. Густина вуглекисотно-водних розчинів змінювалась від 0,869–0,671 г/см³ на нижніх ділянках рудних стовпів до 0,158–0,303 г/см³ на верхніх горизонтах. Повністю сингенетичні включення гомогенізувалися при температурі 360–160°C. Для термометричних досліджень використовували включення гомогенного захоплення. Характерно, що густина вуглекисотно-водних флюїдів у мінералотвірній системі ритмічно знижувалася в процесі мінералоутворення, що пов'язано зі зниженням тиску від 40,4 (для ранніх асоціацій) до 10,5–8,5 МПа (для пізніх). Таке значне й різке зниження тиску в системі, зазвичай, зумовлює гетерогенізацію та фракціонування флюїдів [3], що надійно діагностують за флюїдними включеннями. З проявами гетерогенізації часто пов'язують порушення кислотно-основної рівноваги у системі та розпад комплексних сполук міді, цинку, свинцю чи золота [1–3, 7, 8].

У складі водних витяжок з кварцу-IV виявлено, %-екв.: натрію – 26,5–47,7; калію – 5,1–30,2; кальцію – 8,1–29,0; магнію – 12,1–31,8; хлору – 18,8–24,1; гідрокарбонат-іона – 33,6–43,2; гідросилікат-іона – 22,3–37,7. Літій, стронцій, сульфат-іон виявлені у незначній кількості. Хроматографічним газовим аналізом підтверджено результати візуального вивчення включень. Визначена висока газонасиченість кварцу четвертої генерації (до 16 мл/г) зі значним вмістом діоксиду вуглецю (86–97%) (табл. 2).

Таблиця 2
Газовий аналіз включень кварцу кварц-полісульфідного комплексу

Номер проби	Загальна газонасиченість, мл/г	Об'ємна частка, %							Середня газонасиченість, мл/г	Середній вміст CO ₂ , %
		O ₂	N ₂	CO ₂	CO	H ₂	H ₂ S	CH ₄		
Ш-3-1	15,16	1,12	3,56	94,06	1,26	–	–	–		
Ш-3-3	2,49	0,76	4,83	82,76	5,63	6,02	–	–		
Ш-3-4	2,81	1,03	8,54	86,16	4,27	–	–	–		
Ш-3-5	8,94	0,12	1,45	96,64	1,76	–	–	–		
Ш-3-9	2,034	1,83	14,26	83,58	0,34	–	–	–	8,90	90,95
Ш-3-10	7,07	2,12	9,05	86,00	2,83	–	–	–		
Ш-3-14	9,63	0,20	0,76	97,25	1,34	0,45	–	–		
Ш-3-15	4,89	0,29	6,75	88,34	4,60	–	–	–		
Ш-3-16	15,41	0,05	0,12	97,08	2,40	0,35	–	–		
Ш-3-19	20,65	0,07	0,53	97,63	1,74	–	–	–		
Б-1-2	16,00	0,12	1,25	97,88	0,75	–	–	–		
Б-1-3	8,69	0,34	1,33	97,65	0,68	–	–	–		
Б-1-5	7,05	2,27	11,35	85,82	0,55	–	–	–		
Б-1-11	6,07	3,60	5,27	89,50	0,45	0,13	–	–	6,80	93,45
Б-1-12	3,68	1,68	7,88	89,87	0,43	–	–	–		
Б-1-15	2,31	1,04	7,35	89,10	0,65	1,86	–	–		
Б-1-17	4,22	0,45	2,84	95,30	0,78	0,62	–	–		
Б-2-6	4,25	0,40	2,05	96,21	1,34	–	–	–		
Б-2-10	2,64	0,95	3,67	91,66	0,98	6,21	–	–	4,20	93,42
Б-2-11	4,61	0,81	6,66	91,10	1,25	–	–	–		
Б-2-12	5,10	0,52	1,82	94,72	2,94	–	–	–		
Б-5-4	10,83	1,36	4,16	93,71	0,74	–	–	–	8,85	95,02
Б-5-9	7,36	0,25	1,20	96,33	1,63	0,53	0,06	–		

Вторинні включення у мінералах цього комплексу поширені всюди, особливо уздовж залікованих тріщин. Співвідношення фаз включень стійке: газова фаза не перевищує 10–15 % об'єму вакуолі. Гомогенізація включень у рідку фазу відбувалася при температурі 160–70°C.

Отже, мінерали кварц-полісульфідного комплексу утворювались із суттєво вуглекислотних калій-натрій-кальцій-магній-гідросилікатно-гідрокарбонатних флюїдів при температурі 340–150°C. За “мінералогічними вилками”, золото відкладалося при температурі 260–200°C.

Кварц-карбонатний комплекс завершив формування барун-холбинських руд. Кварц-карбонатні жили цементують і перетинають раніше відкладені мінеральні комплекси на всіх рівнях родовища. Головними мінералами цього комплексу є карбонат-IV і кварц-V.

Карбонат-IV представлений кальцитом кремового відтінку, кристалам якого властива комбінація призми й ромбоєдра. Пізні зародження карбонату-IV мають форму плоских ромбоєдрів.

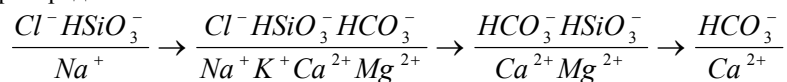
Кварц-V виділився одночасно з карбонатом-IV. Він, зазвичай, наростає на стінках тріщин у вигляді дрібнокристалічних агрегатів.

Включення, сингенетичні з описаними вище мінералами (п'ята генерація включень), представлені низькотемпературними консерватами слабкоконцентрованих гідротерм. Рідка фаза цих включень займає 85–95 % об'єму вакуолі. Їхня гомогенізація відбувалася завжди у рідку фазу при температурі 180–80°C (кварц) і 130–70°C (карбонат). Отже, мінерали цього комплексу формувалися із слабкоконцентрованих кальцій-гідрокарбонатних флюїдів.

Результати детального геолого-структурного, мінералого-генетичного та термобарогеохімічного дослідження Барун-Холбинського золоторудного родовища дали змогу зачислити його до пневматолітово-гідротермальних, мезотермальних утворень середніх глибин. Воно формувалося в широкому діапазоні температури (500–70°C) і тиску (160–60 МПа). Золото кристалізувалося при температурі 260–200°C.

Леткі компоненти у складі мінералотворних флюїдів представлені групою кислих (CO, і головню CO₂ – до 97 % за об'ємом) та інертних (N₂ до 57 %) газів, менше – O₂, H₂S, CH₄, H₂. Їхні співвідношення на різних етапах процесу мінералоутворення були різними.

Зміни складу розчинних компонентів у мінералотворних флюїдах від початку до завершення процесу мінералоутворення були дискретними, з напруженою, часто переривчастою мінливістю загальної концентрації (від 45 до 0,5 % за NaCl-екв.) і кислотності розчинів за закономірної тенденції підвищення активності слабких кислот і лужноземельних металів. Еволюцію зміни катіонно-аніонного складу флюїдів відтворює ряд:



Загалом флюїдний і термобаричний режим мінералоутворення під час формування Барун-Холбинського родовища був дискретним. Виявлені циклічність у послідовності кристалізації мінералів (кварц – сульфіді – карбонат) та регресивно-

інверсійний характер пульсаційної зональності (температурні інверсії від 30 до 100°C) підтверджують дискретний характер процесів мінералоутворення. Кристалізація мінеральних комплексів відбувалася у три етапи впродовж п'яти стадій [6]:

I – допродуктивний етап (пневматолітово-гідротермальний): молібденіт-кварцова (500–420°C), турмалін-кварцова (485–380°C) та пірит-кварцова (480–270°C) стадії;

II – продуктивний етап (гідротермальний): кварц-полісульфідна (340–150°C) стадія; відкладення золота при 260–200°C;

III – післяпродуктивний етап (гідротермальний): кварц-карбонатна (180–70°C) стадія.

Початок кожного акту мінералоутворення пов'язаний з активізацією тектонічних процесів, можливо, з втручанням магматичних інтрузій. Це зумовлювало різке збільшення об'єму мінералотворної системи, а, можливо, і її розкриття, що спричинювало різке зниження тиску і сприяло закипанню та фракціонуванню мінералотворних флюїдів (у продуктивну стадію дегазації CO₂). За таких умов металонесні комплекси дестабілізувалися [1–3, 7, 8], і тому наставала кристалізація окремих мінералів, їхніх асоціацій чи комплексів.

Інтерпретація отриманих даних з урахуванням конкретної геолого-структурної ситуації дає змогу об'єктивно оцінити не тільки загальногенетичні риси формування родовища, а й природу їхньої зональної структури, а також чинники, що безпосередньо впливали на характер поширення і концентрації золота.

1. Лазько Е. М., Ляхов Ю. В., Пизнюр А. В. Физико-химические основы прогнозирования постмагматического оруденения. М., 1981.
2. Ляхов Ю. В. Термобароградієнтні умови розвитку золоторудних формацій // Мінерал. зб. 1995. № 48. Вип. 1. С. 23–30.
3. Попивняк И. В. Фракционирование минералообразующих флюидов и кристаллогенез эндогенных минеральных парагенезисов // Тез. докл. IX Междунар. конф. по термобарогеохимии. Александров, 1999. С. 25–27.
4. Ляхов Ю. В., Павлунь Н. Н., Пизнюр А. В., Попивняк И. В. Термобарогеохимия золота (прогнозирование, поиски и оценка оруденения). Львов, 1995.
5. Попивняк И. В. Термобарогеохимические условия минералообразования, поисково-оценочные критерии и прогнозирование оруденения в Кедровском рудном районе (Западное Забайкалье, зона БАМ): Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Львов, 1977.
6. Попивняк И. В., Карамышева Т. А., Ковалевский В. А. и др. Опыт перспективной оценки глубоких горизонтов некоторых золоторудных объектов Урик-Китойского рудного узла (Восточный Саян) // Термобарогеохимия геологических процессов. М., 1992. С. 161–162.
7. Cole D. R., Drummond S. E. The effect of the transport and boiling on Ag/Au ratio in hydrothermal solutions // J. Geotherm. Expl. 1986. Vol. 25. P. 45–79.
8. Drummond S. E., Ohmoto H. Chemical evolution and mineral deposition in boiling hydrothermal systems // Econ. Geol. 1985. Vol. 80. P. 126–147.

**PHYSICAL-CHEMICAL MINERAL-FORMING CONDITIONS
AT THE BAROON-HOLBINS'KE GOLD DEPOSIT (EASTERN SAYAN)**

T. Pavlyuck

*Ivan Franko National University of Lviv
Hrushevskogo st. 4, UA – 79005 Lviv, Ukraine
E-mail: geomin@geof.franko.lviv.ua*

The Baroon-Holbins'ke deposit has been formed in mesothermal conditions in the temperature range 500–70°C and under the pressure 160–20 MPa, according to the geological-structural, mineralogical and thermobarogeochemical investigations. Gold was accumulated from carbonaceous-aqueous fluids at the temperature diapason 260–200°C.

Key words: gold-bearing deposit, thermobarogeochemical investigations, inclusion, mineral-forming stage

Стаття надійшла до редколегії 20.03.2000