

УДК 553.411(477)

Т.О.Павлюк, І.В.Попівняк

Львів. Національний університет імені Івана Франка

**МОДЕЛЮВАННЯ ПРОСТОРОВОЇ МІНЛИВОСТІ
ПАЛЕОТЕМПЕРАТУРНИХ УМОВ МІНЕРАЛОУТВОРЕННЯ
БАРУН-ХОЛБИНСЬКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО РОДОВИЩА
(СХІДНИЙ САЯН)**

Барун-Холбинське родовище є складовою частиною Урік-Китойської золотоносною металогенічною зони, розташованої в системі каледонід Східного Саяну, в центральній частині субширотного Гарган-Бутугольського антиклінорію [6].

Архей-нижньопротерозойські гнейсограніти складають ядро великої складки, що має північно-західне простягання. Крила її складені карбонатними породами та сланцями монгошинської та ільчинської світ рифею–венду й у районі родовища падають майже вертикально. Осадково-метаморфічні породи прориваються ордовик–силурійськими плагіогранітами та гранодіоритами Холбинського інтрузивного комплексу. Осьова частина та крила антикліналі ускладнені крутопадаючими поздовжніми розривними порушеннями зсувного та скидо-зсувного типу.

Рудні тіла досліджуваного родовища розташовані безпосередньо у зоні впливу Улан-Сардазького розлому, який простежується від вершини г.Улан-Сардаг на північний захід до верхів'я р.Барун-Холба і має досить складну будову. Численні субпаралельні зони розсланцювання, дроблення та березитизації утворюють грабеніву структуру в масиві вивержених і перешарованих осадково-метаморфічних порід (вапняків, вуглисто-кременистих і зелених сланців, метапісковиків та кварцитів). У зоні розлому наявна серія крутопадаючих дайок і малих інтрузивів холбинського комплексу, що свідчить про значну глибину закладення цієї розривної структури. Виділяють чотири морфогенетичні типи рудних тіл: 1 – складно-побудовані та інтенсивно зім'яті пачки сульфідизованих золотоносних сланців вуглисто-кременистого або хлорит-серицит-кварц-карбонатного складу; 2 – крутопадаючі сульфідні або кварц-сульфідні лінзоподібні поклади; 3 – різні за формою малосульфідні та кварцові жильні тіла; 4 – золотоносні мінералізовані породи типу зон прожилково-вкрапленого зруденіння, що не мають чіткої межі з вмисними породами.

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

Генетичне моделювання. Результати комплексних геолого-мінералогічних, термобарогеохімічних і термоелектричних досліджень барун-холбинських руд дали змогу реставрувати послідовність розвитку мінералоутворення та фізико-хімічні умови формування руд і таким чином обґрунтувати генезис родовища. Добре проявлена мінералогічна контрастність руд і результати вивчення включень у

мінералах дали змогу виділити одинадцять 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-блякчорудну, кварц-барит-карбонатну, кварц-карбонатну (пізню). Вони є речовинною основою барун-холбинських руд і групуються у п'ять мінеральних комплексів, кристалізація яких відбувалася у три етапи на протязі п'яти стадій:

- допродуктивний (пневматолітово-гідротермальний) – молібденіт-кварцова (500–420 °С), турмалін-кварцова (485–380 °С) та пірит-кварцова (480–270 °С) стадії;
- продуктивний (гідротермальний) – кварц-полісульфідна (340–150 °С) стадія, виділення золота відбувалося за температури 260–200 °С;
- післяпродуктивний (гідротермальний) – кварц-карбонатна (180–70 °С) стадія.

Леткі компоненти у складі мінералотворних флюїдів представлені групою кислих (CO_2 , і, головним чином, CO_2 – до 97% за об'ємом) та інертних (N_2 – до 57%) газів, меншою мірою – O_2 , H_2S , CH_4 , H_2 . Їхні співвідношення на різних етапах процесу мінералоутворення були різними.

Зміни складу розчинних компонентів у мінералотворних флюїдах від початку до завершення процесу мінералоутворення були дискретними і характеризувались спрямованою, часто переривчастою мінливістю загальної концентрації (від 45 до 0,5% $NaCl$ -екв.) і кислотності розчинів при закономірній тенденції підвищення активності слабких кислот і лужноземельних металів.

Про дискретний характер процесів мінералоутворення свідчать: регресивно-інверсійний характер флюїдного і термобаричного режиму формування руд Барун-Холбинського родовища, послідовність кристалізації мінералів (кварц-сульфіди-карбонат) та міжстадійні температурні інверсії (від 30 до 100 °С).

Загальновідомо, що температурні умови продуктивного мінералоутворення на синрудних рівнях флюїдодинамічних рудогенеруючих палеосистем тільки незначною мірою залежать від глибинності золоторудних формацій: глибинні – 330–170 °С; середньоглибинні – 310–170 °С; малоглибинні – 320–180 °С [2]. Особливо стабільні оптимальні інтервали виділення основних золотоносних парагенезисів: глибинних – 280–200 °С; середньоглибинних – 260–200 °С та малоглибинних – 250–190 °С [7]. Як бачимо, дані, які ми отримали для Барун-Холбинського родовища, практично не відрізняються від наведених вище (відповідно 340–150 та 260–200 °С).

За всіма наявними даними Барун-Холбинське золоторудне родовище можна віднести до пневматолітово-гідротермальних, мезотермальних утворень середніх глибин [3]. Загальний температурний діапазон його формування становить 500–70 °С. Тиск у системі мінералоутворення східцеподібно знижувався від 160 до 60 МПа. Процеси продуктивного мінералоутворення відбувалися за температури 340–150 °С, а виділення основних золотоносних парагенезисів – за 260–200 °С.

Наші та наявні літературні дані свідчать, що діапазони мінливості температури в періоди продуктивного мінералоутворення досить стійкі й майже не залежать від особливостей конкретних геологічних обстановок та мінерального типу родовищ [3, 7]. Тому саме температурний фактор є одним із визначальних, передусім, щодо якісних особливостей складу мінеральних парагенезисів та стійкості закономірної мінливості їх виділення у міру просочування металоносних гідротерм на синрудні рівні й поступового їх охолодження.

Грунтовні дослідження фізико-хімічних особливостей продуктивного мінерало-

утворення в часі є основою для детального термобарогеохімічного картування у межах рудних тіл.

Просторове моделювання палеотемпературних умов мінералоутворення на Барун-Холбинському золоторудному родовищі проведено вперше. Ми мали на меті не тільки реставрувати характер мінливості температури мінералоутворення в межах родовища, а й спробували здійснити це на базі просторових палеотемпературних моделей, створених за даними різних методів визначення температури: гомогенізації й декрепітації.

Зважаючи на те, що з методологічних позицій точність оцінки температури мінералоутворення за даними методів гомогенізації та декрепітації не є рівноцінною, дослідники звичайно використовують метод гомогенізації включень для побудови температурних моделей палеотеплових полів і уникають спроб виявлення та використання можливостей методу декрепітації для термометричного моделювання й виявлення динаміки процесів мінералоутворення загалом. Це зрозуміло, адже температура декрепітації функціонально залежить від великої кількості параметрів: тиску, складу, розмірів і наповнення включень, вмісту солей, механічних властивостей мінералу-господаря, ступеня його метаморфізму і т.ін. (врахувати які неможливо). Тому вважають, що температурні моделі, побудовані за даними декрепітації включень, не можуть характеризувати реальні закономірності зміни палеотемпературного поля у системах мінералоутворення, втім числі й у золотогенеруючих палеосистемах. Оскільки спеціальних досліджень з цього приводу ніхто не проводив, ми вважаємо, що залишаються не до кінця з'ясованими можливості методу декрепітації щодо реставрації палеотемпературних умов мінералоутворення.

Саме тому паралельно з дослідженнями просторової мінливості палеотемпературних умов мінералоутворення Барун-Холбинського золоторудного родовища на базі гомогенізації включень продуктивних флюїдів ми провели детальні методичні роботи з метою порівняння результатів термометричного моделювання за даними двох методів – гомогенізації й декрепітації.

Для побудови палеотемпературних моделей систематично, через кожні 5 м, відібрані термобарогеохімічні проби з однозначною генетичною приналежністю до золотоносного кварц-полісульфідного комплексу мінералів. Від кожної проби відрізали по два шматочки кварцу. З одного виготовляли плоскопаралельні пластинки, в яких методом гомогенізації аналізували включення, а другий дробили, і фракцію розмірністю 0,5–1,0 мм аналізували методом декрепітації. За результатами проведених аналітичних робіт побудовані палеотемпературні моделі (рис. 1 та 2). Зазначимо, що для побудови такої моделі за даними методу гомогенізації включень у кожній точці досліджуваного простору ми використовували середні значення температури гомогенізації включень, які відповідають найвищій інтенсивності мінералоутворення в продуктивну стадію, а за результатами декрепітометричного аналізу використані максимальні температури декрепітації включень флюїдів продуктивної порції.

Побудова термометричних просторових моделей палеотеплових полів на синрудних рівнях флюїдодинамічних рудогенеруючих палеосистем має велике значення для виявлення джерел, шляхів і напрямків руху мінералотворних флюїдів, а також для вирішення таких прикладних задач, як фіксація тектонічних порушень, визначення загального розмаху зруденіння та відносної глибини сучасного

ерозійного зрізу тощо. Практика свідчить, що теплові поля, в умовах яких розвивалося ендегенне рудоутворення, були неоднорідні, що досить надійно можна реставрувати за допомогою методу гомогенізації, адже температура гомогенізації включень відрізняється від температури мінералоутворення лише на величину поправки на тиск у системі мінералоутворення. Як уже неодноразово зазначалось, для жильних родовищ, де мінералізовані зони можна вважати складовими єдиної сполученої гідродинамічної системи, така поправка має систематичний характер і при моделюванні не спотворює загальної картини реального теплового поля, а у разі гетерогенного стану мінералотворних флюїдів цілком відповідає йому [1]. Це загалом дає змогу говорити про високий рівень відповідності термометричної моделі, побудованої з використанням температур гомогенізації включень, природному палеотемпературному полю (див. рис. 1).

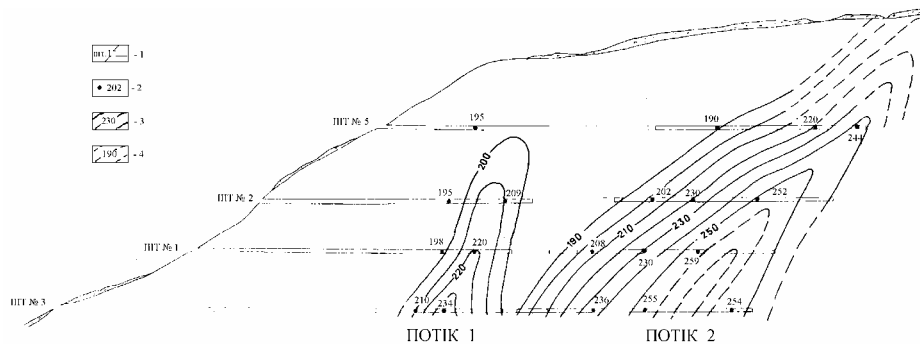


Рис. 1. Модель палеотемпературного поля у межах зони Золотої Барун-Холбинського золоторудного родовища (за даними гомогенізації включень).

1 – гірничі виробки; 2 – точки середніх значень температури гомогенізації включень, що відповідають найвищій інтенсивності мінералоутворення у продуктивну стадію; 3, 4 – палеоізотерми: встановлені (3) і припустимі (4).

Результати просторового моделювання палеотемпературних умов мінералоутворення на Барун-Холбинському золоторудному родовищі, зокрема, у межах тектонічно ослабленої зони Золотої свідчать, що на різних його гіпсометричних рівнях фізико-хімічні умови зруденіння дещо відрізнялися. Продуктивні мінералотворні флюїди просякали літологічні товщі в тектонічно ослаблених зонах у вигляді систем флюїдних палеопотоків, формуючи на своєму шляху (на різних рівнях флюїдної колони) ділянки з підвищеним вмістом корисного компонента (рудні стовпи). Спочатку на нижніх рівнях золоте зруденіння формувалось у вигляді рудних тіл першого типу (золотоносних різко сульфідизованих пачок порід) за температури 340–180 С. У подальшому процес формування золотого зруденіння охоплював середні рівні, на яких поширені рудні тіла у вигляді крутопадаючих сульфідних чи кварц-сульфідних лінзоподібних покладів та різні за формою малосульфідні кварцові жильні тіла (за температури 280–160 С). Найпізніше на верхніх горизонтах тектонічно ослабленої зони Золотої формувалися рудні тіла четвертого морфологічного типу (золотоносні мінералізовані породи, які не мають чіткої межі з вмісними утвореннями, так звані мінералізовані зони), за

температури 220–150 °С.

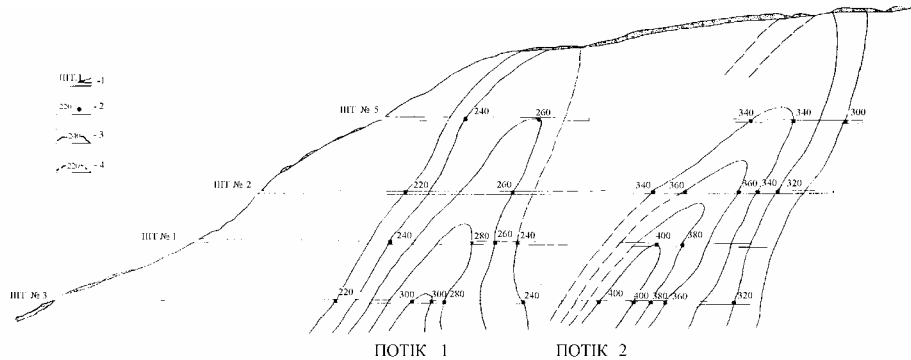


Рис. 2. Модель палеотемпературного поля у межах зони Золотої Барун-Холбинського золоторудного родовища (за даними декрепітації включень).
1 – гірничі виробки; 2 – значення максимальної температури декрепітації включень продуктивних флюїдів; 3, 4 – палеоізотерми: встановлені (3) і припустимі (4).

Загальна закономірність полягає у тому, що мінералотворні флюїди продуктивних порцій проникали до рівнів локалізації руд у вигляді палеопотоків. Наприклад, у межах зони Золотої виявлено два потужних потоки, один із яких формував рудний стовп у межах жили № 40, а другий – у межах північно-західної та південно-східної апофіз, про що, зокрема, свідчить положення палеоізотерм на палеотемпературній моделі, побудованій за даними гомогенізації включень (див. рис. 1). Підвищені концентрації золота формувались у межах флюїдних палеопотоків на шляхах проникання мінералотворних вуглекисотно-водних флюїдів продуктивної порції на рівні їхнього фракціонування (у даному випадку розшарування та кипіння). Власне у структурованих системах таких палеопотоків мінералотворних флюїдів (флюїдних колонах) знаходяться промислові скупчення золота не тільки наведених, але й інших золоторудних стовпів, що складають основу родовища. Отримані дані співзвучні з результатами проведених раніше наших досліджень. Зокрема, на окремих золоторудних родовищах Північної Бурятії за допомогою детального термобарогеохімічного моделювання доведено [5], що флюїди продуктивних порцій проникали до рівнів локалізації руд у вигляді “потоків” та “струменів”, у межах яких формувалися золоторудні стовпи. На цих родовищах, як і на більшості золоторудних, продуктивні парагенезиси сформовані із середньотемпературних вуглекисотно-водних флюїдів. У межах палеопотоків та палеоструменів продуктивних мінералотворних флюїдів ділянки максимальної (промислової) металоносності виявлені на рівнях інтенсивної гетерогенізації (розшарування чи кипіння) мінералотворних флюїдів.

За результатами проведеного градієнтного аналізу, напруженість модельного палеотемпературного поля, побудованого за даними методу гомогенізації, дещо вища порівняно з напруженістю модельного палеотемпературного поля, побудованого за даними декрепітації включень. Зокрема, палеотемпературний градієнт у центральній частині флюїдних палеопотоків I та II, за даними першої моделі,

становить 16–18 °C/100 м на глибинних рівнях флюїдних колон і 20–22 °C/100 м на верхніх, тоді як за даними декрептометричної моделі палеотемпературний градієнт глибинних рівнів флюїдної колони становить 23–24 °C/100 м, а верхніх – 25–26 °C на 100 м. Це свідчить про мінливість рівня термостатування Барун-Холбинської флюїдодинамічної рудогенеруючої палеосистеми, оскільки напруженість палеотемпературного поля від нижніх горизонтів родовища до верхніх поступово зростає, що певною мірою підтверджує ідеї Н.В.Петровської [4].

Зважаючи на результати палеотемпературного моделювання в межах Барун-Холбинського золоторудного родовища, стає очевидним, що побудована за даними декрепітації включень модель палеотемпературного поля подібна за своєю конфігурацією до моделі теплового поля, створеної за даними гомогенізації включень. Тобто, можна вважати, що загальні тенденції мінливості основних характеристик палеотемпературного поля, які відображають особливості динаміки мінералотворних флюїдів, однаково виявляються і методом гомогенізації, і методом декрепітації. Отже, результати методичного дослідження з приводу можливості використання методу декрепітації при моделюванні палеотемпературних умов мінералоутворення засвідчують, з одного боку, очевидну справедливість тверджень попередників щодо обмежень використання методу декрепітації під час палеотемпературного моделювання умов мінералоутворення, а з іншого – ілюструють принципову можливість використання цього методу для виявлення загальних тенденцій мінливості температури у системах мінералоутворення, визначення напрямків динаміки руху мінералотворних флюїдів та напрямків до їх джерел.

1. *Калюжний В.А.* Методи вивчення багатофазових включень в мінералах. К., 1960.
2. *Лазько Е.М., Ляхов Ю.В., Дорошенко Ю.П. и др.* Термобарогеохимия и прогнозирование постмагматического оруденения // Термобарогеохимические исследования процессов минералообразования. Новосибирск, 1988. С. 136–148.
3. *Ляхов Ю.В., Попивняк И.В.* О физико-химических условиях развития золотого оруденения Северной Бурятии // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1977. № 6. С. 5–17.
4. *Петровская Н.В., Элинсон М.М., Николаева Л.А.* Состав и условия образования газовых включений в самородном золоте // I междунар. геол. конгресс (доклады). М., 1973. Т. 2. С. 441–451.
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., Ясинская А.А., Зирченко Ю.П. и др.* Опыт использования типоморфных особенностей пирита при оценке глубоких горизонтов одного из золоторудных месторождений Восточного Саяна // Минерал. сб. 1985. № 39, вып.1. С. 21–31.
7. *Термобарогеохимия золота (прогнозирование, поиски и оценка оруденения) / Ю.В.Ляхов, Н.Н.Павлунь, А.В.Пизнюр, И.В.Попивняк.* Львов, 1995.

Т.О.Pavlyuck, I.V.Popivnyack

Lviv. Ivan Franko National University

**MODELLING OF SPATIAL VARIABILITY OF MINERAL-FORMING
TEMPERATURE CONDITIONS IN THE BAROON-HOLBINS'KE
GOLD DEPOSIT**

Physico-chemical conditions of the Barun-Holbins'ke gold deposit formation have been considered. Based on the homogenization measurement data the deposit was formed under mesothermal conditions, concordant with the mineral paragenesis and textural-structural features of the locality.

By means of the dynamic interpretation of the physico-chemical data the spatial temporal evolution of fluids can be followed. The spatial evolution is reflected by isotherm maps constructed from the values of the temperature of the homogenization and the temperature of the decrepitation. The results of comparison of paleotemporal models are as follows: two maps provide information supporting one another.

Стаття надійшла до редколегії 09.06.2000