

## ТИПОМОРФІЗМ ТА УМОВИ ФОРМУВАННЯ БЛЯКЛИХ РУД БОБРИКІВСЬКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО РОДОВИЩА

Бляклі руди відіграють важливу роль у дослідженні умов рудоутворення і часових варіацій складу рудного флюїду. Відомі випадки застосування бляклої руди як індикатора умов мінералоутворення [1].

Бляклі руди утворюють ряд твердих розчинів із загальною формулою:  ${}^{\text{IV}}M_6^{+} {}^{\text{III}}M_4^{+} {}^{\text{III}}M_2^{2+} Y_4X_{13}$ , де  $M^{+} = \text{Cu}, \text{Ag}, \text{Sn}$ ;  $M^{2+} = \text{Fe}, \text{Zn}, \text{Hg}, \text{Cd}, \text{Pd}$ ;  $Y = \text{As}^{3+}, \text{Sb}^{3+}, \text{Te}^{4+}, \text{Bi}$ ;  $X = \text{S}, \text{Se}$ . За даними [2], блякла руда, у якій близько чотирьох атомів Cu заміщено Ag (понад 23—24 % масової частки Ag), є фрейбергитом. Проте згідно з “правилом 50 %” [4], розробленим для твердих розчинів Комісією з питань нових мінералів та назв мінералів (CNMMN IMA), фрейбергитом слід вважати бляклу руду, у якій понад 50 % позиції  ${}^{\text{III}}M^{+}$  (> 2 форм. од.) зайнято  $\text{Ag}^{+}$ , а якщо менше (< 2 форм. од.) — Ag-тетраедритом.

Парагенетичні співвідношення сульфосолей із мінералами рудних агрегатів та їх хімічний склад проаналізовано в 11 полірованих шліфах, виготовлених із керованого матеріалу св. 2Т, 634, 644, 689, 730, за допомогою растрового електронного мікроскопа-мікроаналізатора РЕММА-102-02 з використанням термочувливого W-детектора.

Блякла руда в рудах Бобріківського родовища звичайно спостерігається в асоціації з халькопіритом, бурнонітом і полібазитом. Становлення халькопірит-сульфосольної асоціації відбувалось на завершальній стадії рудоутворення, після осадження основної маси сульфідів (піриту, піротину, сфалериту, галеніту-I), детальний опис яких наведено у [4]. Ключовою і відмінною рисою цієї мінеральної асоціації є послідовне заміщення одних мінералів іншими. Халькопірит заміщує піротин попередньої мінеральної асоціації і формується одночасно з герсдорфітом. Особливості формування халькопірит-герсдорфітового парагенезису детально описані у статті [5]. У свою чергу, халькопірит заміщений срібловмісною бляклою рудою (рис. 1).

Наступним мінералом халькопірит-сульфосольної мінеральної асоціації є бурноніт ( $\text{PbCuSbS}_3$ ). Він формується як заміщення срібловмісної бляклої руди (рис. 2), утворюючи псевдоморфози по ній. Разом з бурнонітом на контакт з срібловмісною бляклою рудою формуються галеніт-II, полібазит і тетраедрит (рис. 3). Галеніт-II утворює дендритоподібні та неправильної форми виділення розміром до 200 мкм, а також виповнює тріщини

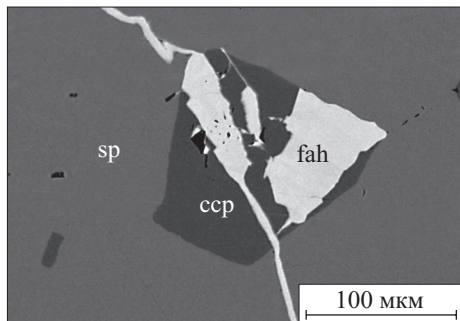


Рис. 1. Вибіркове заміщення халькопіриту (csp) та сфалериту (sp) бляклою рудою (fah). ЕМ, режим відбитих електронів. Св. 2Т, гл. 94,0 м

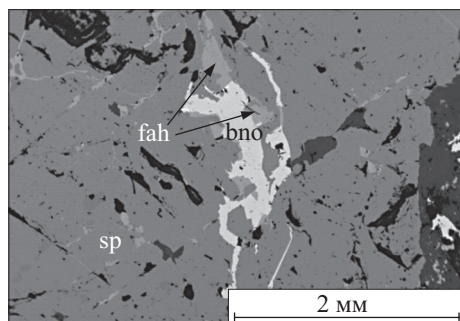


Рис. 2. Розвиток бурноніту (bno) по бляклій руді (fah) у тріщині в сфалериті (sp). ЕМ, режим відбитих електронів. Св. 2Т, гл. 94,0 м

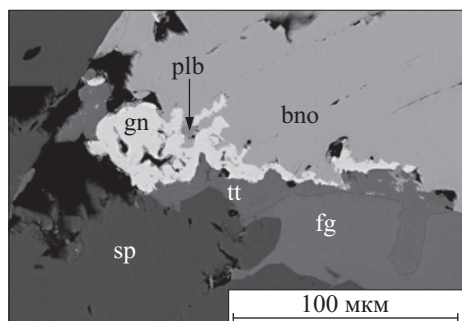


Рис. 3. Формування бурноніту (bno), галеніту (gn), тетраедриту (tt) й полібазиту (plb) внаслідок заміщення фрейбергіту (fg). ЕМ, режим відбитих електронів. Св. 2Т, гл. 94,0 м

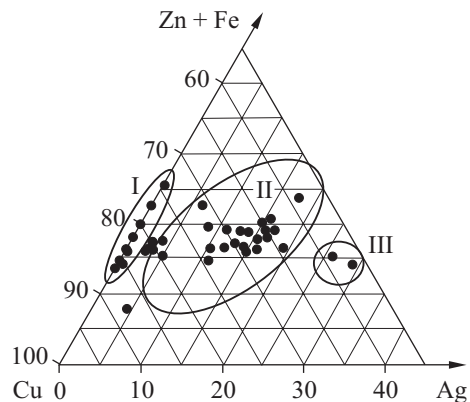


Рис. 4. Діаграма хімічного складу бляклих руд з Бобріківського родовища (цифрами позначено ділянки мінеральних видів: I — тетраедриту, II — Ag-тетраедриту, III — фрейбергіту)

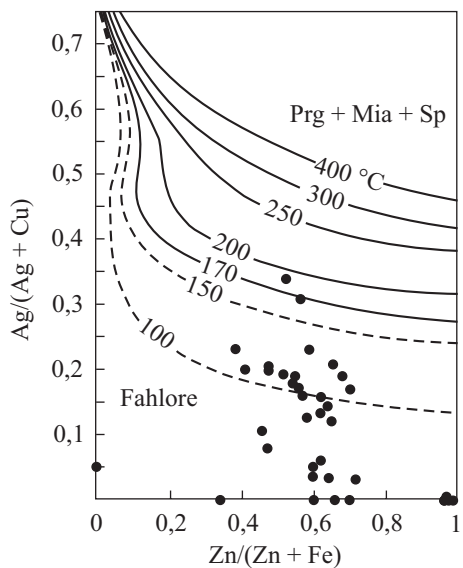


Рис. 5. Молярні співвідношення  $Ag/(Ag + Cu)$  і  $Zn/(Zn + Fe)$  бляклих руд з Бобріківського родовища, зіставлені з розчинністю Ag у бляклій руді в системі  $Ag_2S - Cu_2S - ZnS - FeS - Sb_2S_3$  за температури 170, 200, 250, 300 і 400 °C (блякла руда (fahlore) знаходиться у рівновазі з піраргіритом, сфалеритом і міаргіритом (Prg + Mia + Sp)). Градування здійснено за [1]

у мінералах попередніх мінеральних асоціацій. Полібазит формує виділення неправильної форми розміром не більше 30 мкм і парагенетично асоціює з галенітом-II і тетраедритом. Бурноніт, галеніт-II і тетраедрит супроводжуються сингенними виділеннями самородного золота [5, 6]. Встановлено, що халькопірит-сульфосольна мінеральна асоціація однаково поширена на всіх горизонтах родовища і видимої зміни складу зруденіння з глибиною не спостерігається.

Для бляклої руди Бобриківського родовища властивий широкий діапазон хімічного складу (рис. 4): вона є твердим розчином ряду тетраедрит—фрейбергіт, крайні члени якого відповідають усередненим формулам:



Проте основна маса бляклої руди на родовищі представлена твердим розчином Ag-тетраедрит — фрейбергіт. Тетраедрит менш поширений: його утворення є локальним і підпорядковане реакційним взаємодіям між срібловмісною бляклою рудою і розчином, з якого формується бурноніт. Взаємодія срібловмісного тетраедриту із розчином відбувалась за участі  $\text{S}^{2-}$ . Цей процес у першому наближенні можна описати реакцією  $\text{Cu}_8\text{Ag}_2(\text{Zn},\text{Fe})_2\text{Sb}_4\text{S}_{13} + 2\text{Pb}^{2+} + \text{HS}^- = 0,7\text{Cu}_{10}(\text{Zn},\text{Fe})_2\text{Sb}_4\text{S}_{13} + \text{PbS} + \text{PbCuSbS}_3 + 0,1\text{Ag}_{16}\text{Sb}_2\text{S}_{11} + \text{H}^+$ .

Зі зниженням температури концентрація срібла у бляклій руді зменшується. Температура формування бляклих руд, оцінена за термометром Сека [1], не перевищує 200 °С: 190—170 °С для фрейбергіту, близько 150—100 °С для Ag-тетраедриту. Тетраедрит із низьким вмістом Ag є нерівноважною мінеральною фазою і непридатний для застосування як геотермометр (точки на діаграмі рис. 5, які розміщені нижче ізотерми 100 °С).

Переважаання Sb над As у бляклих рудах є ознакою лужності мінералоутворювальних розчинів і відновних умов рудогенезу [7, 8], що пов'язане з різною стійкістю комплексів  $(\text{AsS}_3)^{3-}$  і  $(\text{SbS}_3)^{3-}$  у разі зміни рН і Eh мінералоутворення. Зниження лужності розчинів приводить до розпаду комплексних аніонів, при цьому сульфоаніони стибію починають розпадатися в умовах близько нейтрального—слабокислого середовища, у якому сульфоаніон арсену все ще залишається стійким.

У рудних агрегатах халькопірит-сульфосольної мінеральної асоціації на Бобриківському родовищі виділено такі мінеральні парагенезиси: 1) халькопірит-герсдорфітовий; 2) срібловмісний бляклорудний; 3) бурноніт-галеніт-полібазит-тетраедритовий із золотом. Сульфосоли утворювалися на окремому етапі рудоутворення, особливістю якого є осадження золота. Формування парагенезису відбувалось у нерівноважних умовах, за часової зміни складу розчину (зменшення рН і концентрації  $\text{Sb}^{3+}$ ), визначальною ознакою чого є повсюдне заміщення раніше утворених мінералів пізнішими.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Sack R.O., Lynch J.V.G., Foit F.J.R. Fahlore as a petrogenetic indicator: Keno Hill Ag-Pb-Zn district, Yukon, Canada // Mineral. Mag. — 2003. — 67. — P. 1023—1038.
2. Мозгова Н.Н., Бородаєв Ю.С. Особенности состава минералов и их ассоциаций как индикаторы условий минералообразования // Минералогические индикаторы генезиса эндогенных руд. — М., 1987. — С. 76—128.
3. Nickel E.H., Grice J.D. The IMA Commission on New Minerals and Mineral Names: procedures and guidelines on mineral nomenclature // Can. Mineral. — 1998. — 36. — P. 1—16.
4. Цабан О., Скакун Л., Литвинович О. Відображення деформацій у будові мінеральних агрегатів Бобриківського золоторудного родовища // Мінерал. зб. — 2006. — № 56, вип. 1—2. — С. 67—75.
5. Цабан О., Скакун Л., Литвинович О. та ін. Золотовмісний мінеральний парагенезис у рудах Бобриківського родовища // Там само. — 2007. — № 57, вип. 2. — С. 60—69.
6. Ємець О.В., Бондаренко С.М. Морфологічні типи та особливості концентрування золота Бобриківського золоторудного родовища (Донбас) // Доп. НАН України. — 2006. — № 8. — С. 143—148.
7. Сахарова М.С. О зависимости химического состава блеклых руд от условий рудообразования // Очерки геохимии эндогенных и гипергенных процессов. — М.: Наука, 1966. — С. 109—118.
8. Мозгова Н.Н., Цетин Ф.И. Блеклые руды. — М.: Недра, 1983. — 280 с.