

УДК 549.768.1(477)

ФІЗИКО-ХІМІЧНІ УМОВИ І СТАДІЙНІСТЬ ФОРМУВАННЯ РУДОПРОЯВУ БІЛИЙ ПОТІК (РАХІВСЬКИЙ РУДНИЙ РАЙОН)

С. Ціхонь, І. Кончаківський

*Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. Грушевського, 4, 79005 м. Львів, Україна
E-mail: tsikhon_s@ukr.net*

Досліджено фізико-хімічні та мінералого-фізичні властивості мінералів, різновікових мінеральних асоціацій та комплексів рудопрояву Білий Потік (Рахівський рудний район). Виявлено послідовність їхньої кристалізації впродовж трьох стадій процесу мінералоутворення. За даними гомогенізації флюїдних включень температурний інтервал власне продуктивного мінералоутворення становить 295–130 °С, водночас переважна маса золота виділялася за $T = 220\text{--}170$ °С і $P = 60\text{--}30$ МПа; густина CO_2 продуктивних вуглекислотноводних флюїдів становила 0,579–0,585 г/см³. Доведено, що золото кристалізувалося з продуктивної порції флюїдів упродовж золото-полісульфідної стадії мінералоутворення разом із мінералами золото-полісульфідного мінерального комплексу.

Ключові слова: кварц, золото, пірит, термоелектрорушійна сила, флюїдні включення, термобарогеохімія, мінералоутворення, метаморфічні породи, Рахівський рудний район.

Одним із найперспективніших золоторудних об'єктів у Рахівському рудному районі є рудопрояв Білий Потік, розташований за 1,1 км від гирла р. Білий Потік на схилі його лівої притоки, потоку Штольневого. Рудопрояв приурочений до південно-західного крила антиклінальної складки і представлений протяжною (до 1,0 км) кварцово-жильною зоною (потужність – 1,0–2,7 м), що залягає субзгідно зі сланцюватістю вмісних порід (переважно серицит-польовошпат-кварцові сланці). Для порід, які сильно змінені через неодноразовий прояв метаморфічних і метасоматичних процесів, характерне тонке ритмічне чергування прошарків вулканогенного й осадового походження.

Метаморфічні породи, які вміщують золоторудну мінералізацію, належать до діловецької світи. Вони представлені хлорит-мусковіт-польовошпатовими окварцьованими сланцями, порфіробластовими сланцями з реліктами біотиту, гранату, двослюдяними сланцями з лінзами і прошарками мармурів, амфіболітів, метапорфіритів, хлорит-серицит-кварцових сланців. Поширені зони інтенсивного розшарування й філонітизації.

Підвищений вміст золота виявили в окварцьованих сланцях діловецької світи й окварцьованих конгломерато-брекчіях палеогенового віку (Гниломедов с соавт., 1981).

Для рудопрояву Білий Потік характерна блокова будова. Простежуються численні зони дроблення і змінання різної інтенсивності, що зумовили складну будову рудопрояву. Саме до таких зон приурочені рудні тіла, представлені жилами, прожилками й лінзами, які є субзгідними і січними до вмісних порід. Золото трапляється як у січних, так і в субзгідних жилах та прожилках. Текстура руд масивна, брекчієва. Руди представлені

переважно сірим брекчіюваним кварцом з поодинокими вкрапленнями сульфідів. Потужність рудних тіл – від 0,5 до 1,5 м. Суттєво кварцові виділення наявні у вигляді пошарових прожилків, а також лінзоподібно-гніздових переривчасто-ланцюжкових та очкових виділень у кварц-слюдистих сланцях. Структура кварцових (кварцово-жильних) утворень – кристалічно-зерниста, текстура масивна.

Основна золоторудна мінералізація зосереджена в смугасто-плямистих виділеннях кварцу, які мають кристалічно-зернисту будову (кристали три-, шести- і багатокутної форми). Вони утворюють лінзоподібні й неправильні гніздоподібні відокремлені виділення [2].

Сульфідна мінералізація кварцово-жильної зони представлена окремими скупченнями і прожилками, а у вмінних породах – дрібними вкрапленнями. Серед рудних мінералів переважає пірит, підлегле значення мають арсенопірит, галеніт, у незначній кількості трапляються гетит, халькопірит та інші мінерали (табл. 1). У рудах виявлено досить високий вміст золота і срібла [5]. Вміст сульфідних мінералів у жильній масі рудних тіл становить близько 1 %.

Таблиця 1

Гіпогенні та гіпергенні мінерали рудопрояву Білий Потік

Мінерали	Гіпогенні		Гіпергенні
	рудні	нерудні	
Головні	Пірит-I, II, арсенопірит, гетит, халькопірит, золото	Кварц-I, II, III, карбонат-I, II, серицит	Кальцит
Другорядні	Галеніт, сфалерит	Анкерит, барит, доломіт, сидерит, лімоніт	Марказит
Рідкісні знахідки	Аргентит		Церусит, скородит

Головні мінеральні комплекси та послідовність їхньої кристалізації. У складі білопогіцьких руд ми виділили сім стійких парагенетичних мінеральних асоціацій: хлорит-кварцову, пірит-кварцову, кварц-піритову, сфалерит-галенітову, кварц-халькопіритову, кварц-карбонатну ранню та пізню.

Мінеральні асоціації об'єднано в три мінеральні комплекси, описані нижче в послідовності їхнього формування (рис. 1).

Мінерали **пірит-кварцового мінерального комплексу** утворюють дві парагенетичні асоціації. Їхнє формування почалося з відкладання хлорит-кварцової асоціації, а завершилося кристалізацією мінералів пірит-кварцової асоціації.

Хлорит-кварцова асоціація складена кварцом-Ia та хлоритом. Кварц-Ia є одним із найпоширеніших мінералів у межах рудопрояву. Він утворює жили та прожилки потужністю 5–10 см, субпаралельні чи січні до сланцюватості вмінних порід. Мінерал має сірий до темно-сірого колір, досить часто з зеленкуватим відтінком (включення хлориту). Структура дрібнозерниста (розмір зерен – до 5 мм), текстура масивна.

Характерні динамометаморфізм (за флюїдними включеннями, які всі витягнуті в одному напрямі) та катаклаз (в окремих зернах кварцу флюїдні включення теж витягнуті в одному напрямі, проте в різних зернах є різні напрями витягнутих включень [1]).

Хлорит наявний у кварці-Ia майже повсюди у вигляді твердих включень, унаслідок чого кварц-Ia має зеленкуватий відтінок. Включення хлориту під мікроскопом мають вигляд “хробачків”, що складені субпаралельно зближеними пластинками хлориту.

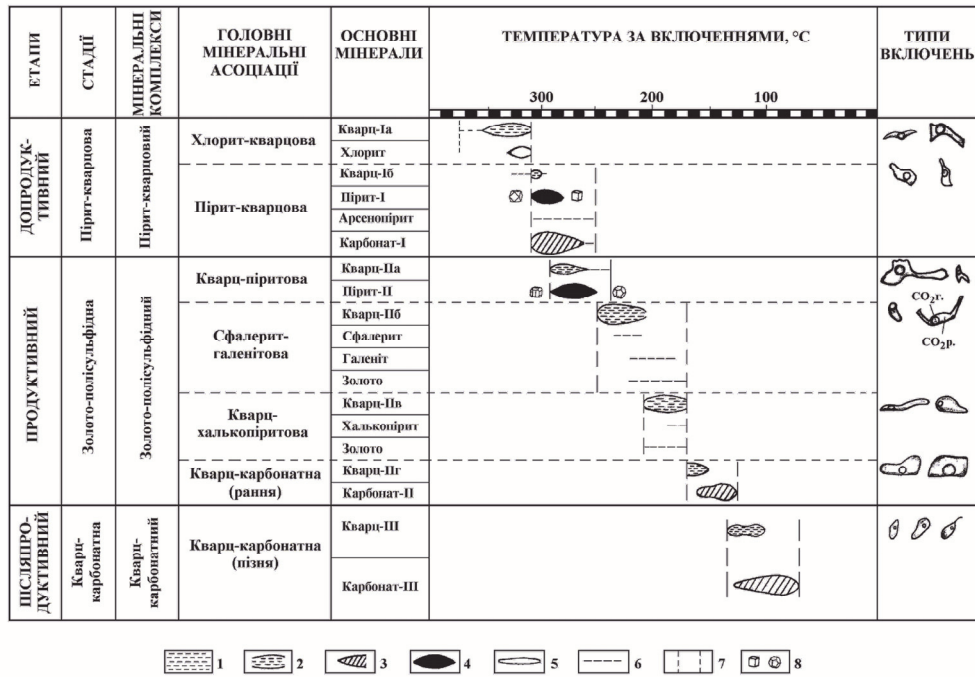


Рис. 1. Температурно-парагенетична схема стадійності мінералоутворення рудопрояву Білий Потік:

1 – рідкий стан мінералоутворювальних флюїдів; 2 – температурні інтервали відкладання мінералів за результатами гомогенізації включень; 3–5 – інтервали виділення мінералів, припустимі за мінералогічними “вилками” та даними декрепітації: 3 – карбонатів, 4 – піриту, 5 – хлориту; 6 – припустимі інтервали виділення мінералів; 7 – межі мінеральних асоціацій; 8 – габітусні форми кристалів піриту, виділені на початку та наприкінці формування різних генерацій [6].

Іноді хлоритові виділення за розміром сягають 0,5–7,0 мм. У жильному вивопненні вони часто становлять понад 1 % від загальної кількості мінеральної речовини [6].

Пірит-кварцова асоціація складена кварцом-Iб, піритом-I та карбонатом-I. Кварц-Iб за поширенням у межах рудопрояву поступається тільки кварцу-Ia. Утворює жили та прожилки потужністю до 5 см, у яких досить часто трапляються виділення піриту й арсенопіриту. Через наявність великої кількості сульфідів колір цього кварцу темно-сірий. Для нього також характерні динамометаморфізм і катаклаз. Досить часто кварц-Iб утворює своєрідні “бухточки” й “затоки” на контакті з кварцом-Ia. Пірит-I, характерною габітусною формою якого є куб, – один із найраніших сульфідів. Він значно поширений у вмісних породах і зрідка трапляється в жильних утвореннях. Представлений головню монокристаллами, розмір яких коливається від 0,5 до 4,0 мм. У складі піриту-I білопотіцьких руд переважають такі елементи-домішки, як Ni, Co, Cu, Ti (табл. 2).

Генетично пірит-I пов’язаний з кварцом-Iб, арсенопіритом, хлоритом і карбонатом-I. Узагальнена інформація щодо термоелектричних властивостей піриту-I зображена на рис. 2. Значення коефіцієнта термоелектричного потенціалу α на гранях піриту-I змінюється від -540 до +720 мкВ/град; розмах вибірки – 1 260 мкВ/град, а середнє значення α = +143 мкВ/град (рис. 3). Внутрішні частини мають значення термо-е.р.с. від -120 до

+720 мкВ/град, розмах вибірки – 840 мкВ/град, $\alpha_{\text{сеп}} = +332$ мкВ/град. Арсенопірит поширений у край обмежено – у кварці-Іб у вигляді ідіоморфних кристалів псевдобіпірамідальної форми. Для нього характерні двійники проростання, олов'яно-білий колір, інколи грані покриті тоненькою бордовою плівкою. Значення термо-е.р.с. на гранях коливаються від –330 до –90 мкВ/град за $\alpha_{\text{сеп}} = -240$ мкВ/град (див. рис. 3).

Таблиця 2

Елементи-домішки, термоелектричні властивості та габітусні форми кристалів піриту й арсенопіриту (рудопрояр Білий Потік)

Номер проби	Номер кристала	Елементи-домішки, %				$\alpha_{\text{сеп}}$, мкВ/град	Розмах вибірки, мкВ/град	Габітусна форма кристалів
		Ni	Co	Cu	Ti			
Пірит								
БП-397	150	0,027	0,037	0,372	0,484	-70	470	К, О
БП-997	145а	0,021	–	0,004	–	+310	230	К, ПД, О
	141а	–	–	+	–	+450	240	ПД, К, О
	142а	Сл.	–	+	–	+425	140	К, ПД
	154а	–	–	+	–	+420	270	ПД, К
БП-1697	97	0,029	–	0,120	0,162	+230	280	ПД
	103	0,050	–	0,012	–	+410	220	К, ПД
	133а	0,028	–	0,011	–	+330	260	К, ПД, О
	107а	0,045	0,060	0,028	–	+160	440	ПД, К, О
	137а	0,025	0,047	0,007	–	+30	250	К, ПД, О
	99	–	–	+	+	+170	280	К, ПД
	100а	–	–	+	–	+210	370	К
	100в	–	–	+	–	+380	440	ВЧ
135а	–	+	+	–	+10	460	К, ПД	
БП-1797	121	0,022	–	0,031	0,014	+160	240	ПД, О
	109а	–	–	0,030	0,033	+90	480	ПД, К
	119	–	–	0,012	0,029	+360	350	ПД, К
	108	–	–	0,011	0,035	+470	190	ПД, К, О
	124а	Сл.	–	+	–	+20	480	ПД
	124в	Сл.	–	+	–	+30	170	О
	124г	–	+	+	–	+130	390	К
Арсенопірит								
БП-997	1	+	+	+	+	-260	120	

Примітки. Елементи-домішки визначено лазерним мікроспектральним аналізом на приладі LMA-10, аналітик Л. Дручок (ІГГК НАН України, м. Львів). ВЧ – внутрішня частина кристала; К – куб (поверхня кристала); О – октаедр (поверхня кристала); ПД – пентагондодекаедр (поверхня кристала); Сл. – сліди.

Карбонат-І є найранішою генерацією цього мінералу, він завершує формування досліджуваного комплексу. На підставі наявності його твердих сингенетичних включень у кварці-Іб можна припустити, що ці мінерали є близько-одночасними утвореннями. Згодом карбонат-І виділявся один, заповнюючи невеликі міжзернові порожнини в кварці-Іб. Карбонат-І має буро-жовтий колір та характерні для анкериту випуклі й увігнуті грані ромбоєдра.

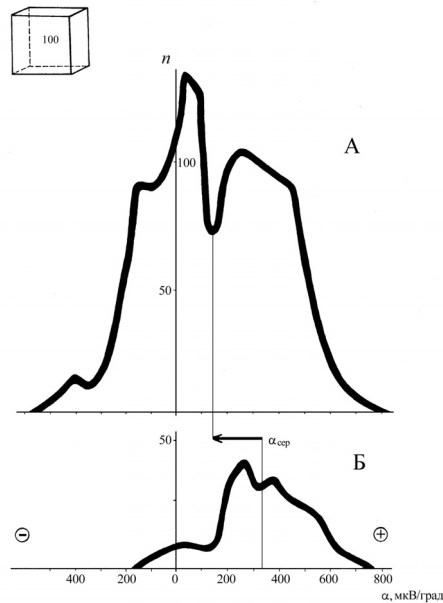


Рис. 2. Генеральні вибірки значень термо-е.р.с. на гранях кристалів піриту-I (А) та на відколах їхніх внутрішніх частин (Б). Стрілкою зображено зміщення середнього значення термо-е.р.с. піриту-I від внутрішніх частин кристала до поверхні граней.

Зазначимо, що зерна кварцу-I досить часто деформовані, мають блокову будову. Тріщинки між окремими блоками кварцу-I виповнені кварцом-II в асоціації зі слюдистими мінералами, зрідка – карбонатами [3, 4].

Сингенетичні вclusions (перша генерація) флюїдів у мінералах поширені майже повсюдно, проте через широкий розвиток процесів катаклазу досліджувати їх дуже важко. Їхній розмір переважно становить 0,0026–0,0078 мм. Наявні гомогенні газові вclusions та двофазові газово-рідкі. Наповнення газово-рідких вclusions – від 40 до 65 %, їхня гомогенізація відбувається за $T = 375\text{--}320\text{ }^\circ\text{C}$ у рідку фазу (табл. 3).

У кварці-I досить поширені епігенетичні вclusions, які надійно визначають за матеріалами візуальної мікроскопії (поширення вздовж зарощених тріщинок). Це може свідчити про інтенсивність функціонування пізніших порцій мінералоутворювальних флюїдів та накладання пізнішої (продуктивної) мінералізації на описуваний мінеральний комплекс [6].

Золото-полісульфідний мінеральний комплекс формують декілька парагенетичних асоціацій мінералів: кварц-піритова, сфалерит-галенітова, кварц-халькопіритова та кварц-карбонатна рання. Мінерали цього комплексу утворювалися впродовж продуктивної (золото-полісульфідної) стадії мінералоутворення. Кількісно вони є підлеглими до раніше сформованих мінералів і подекуди накладені на них, особливо кварц-II. Виділені нами зародження (а–г) у межах кварцу другої генерації загалом є відносними.

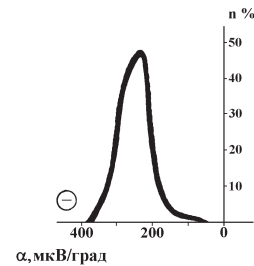








Рис. 3. Генеральна вибірка значень термо-е.р.с. арсенопіриту рудопрояву Білий Потік.

Таблиця 3

Температура гомогенізації флюїдних включень у кварці-І рудопрояву Білий Потік

Номер пластинки	Номер включення	Температура і тип гомогенізації, °С	Зарисовка включення	Співвідношення рідина:газ, %
БП-197	29	335, I		60:40
	30	332, I		55:45
	31	340, I		40:60
	32	320, I		65:35
БП-397	95	330, I		60:40
	96	375, I		60:40

Кварц-піритова асоціація складена кварцом-Па і піритом-П. Кварц-Па представлений середньозернистими відмінами ясно-сірого до білого кольору. Зерна кварцу-Па мають неправильну, кутасту форму, розмір – до 0,1 мм. Кварцом-Па складені малопотужні жили і прожилки, потужність яких зрідка перевищує перші сантиметри. Часто він виповнює тріщинки, утворені в кварці-І. У них разом із кварцом-Па кристалізувалися галеніт, пірит-П, сфалерит. Через наявність сульфідів кварц-Па досить часто має плямисту текстуру. Пірит-П поширений обмеженіше, ніж пірит-І, однак, порівняно з іншими сульфідами, трапляється досить часто. Він теж представлений монокристалічними утвореннями; головна габітусна форма його кристалів – пентагондодекаедр, інколи в комбінації з октаедром. Ідеальні пентагондодекаедри, зазвичай, дуже дрібні: їхній розмір не перевищує 1,0 мм. Пірит-П трапляється у межах кварцово-жильних зон і поширений у вмисних породах, де утворює ореоли піритизації. Цей мінерал тісно асоціює з кварцом-П, галенітом, халькопіритом, золотом і карбонатом-П, що формувалися вслід за піритом-П упродовж продуктивної стадії мінералоутворення. Серед елементів-домішок у складі піриту-П переважають Ni, Cu, Ti (див. табл. 2).

Генеральна вибірка значень термо-е.р.с. піриту-П, габітус якого визначений гранями пентагондодекаедра, зображена на рис. 4. Значення коефіцієнта α на гранях кристалів коливаються від -240 до $+700$ мкВ/град; розмах вибірки становить 940 мкВ/град; серед-

не значення $\alpha = +351$ мкВ/град (див. рис. 4, А). Внутрішні частини піриту-II мають значення термо-е.р.с. від -300 до $+500$ мкВ/град; розмах вибірки – 800 мкВ/град, середнє значення $\alpha = +155$ мкВ/град (див. рис. 4, Б).

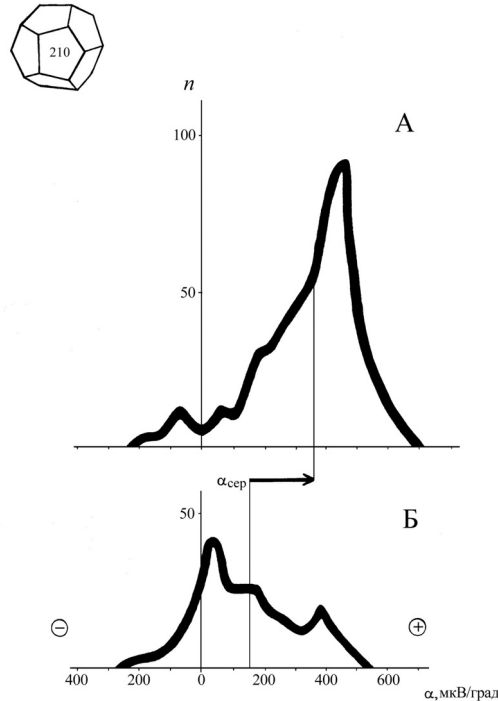


Рис. 4. Генеральні вибірки значень термо-е.р.с. на гранях кристалів піриту-II (А) та на відколах їхніх внутрішніх частин (Б). Стрілкою показано зміщення (див. рис. 2).

Сфалерит-галенітова асоціація складена кварцом-IIб, сфалеритом, галенітом і золотом. Кварц-IIб – темно-сірий, масивний, середньозернистий, наявний у вигляді прожилків, що перетинають ранні генерації кварцу та майже не бувають субзгідними зі сланцюватістю вмисних порід. Цей мінерал тісно асоціює з галенітом, сфалеритом і золотом. Сфалерит дуже рідкісний. Як свідчить його співвідношення з іншими сульфідами, він кристалізувався після піриту-II, проте до галеніту й халькопіриту. Деяка частина халькопіриту утворює у сфалериті емульсійні вкраплення – результат розпаду твердих розчинів. Колір сфалериту в більшості випадків темно-коричневий до коричневого (мармастит). Галеніт кількісно поступається піриту-II. Він трапляється у вигляді гніздоподібних зернистих скупчень (до 0,5 см) у кварці-II та поодиноких зерен кубічного габітусу, частіше у вигляді вкраплень в асоціації з сфалеритом. Галеніт має електронну провідність; значення термо-е.р.с. змінюється від -380 до -260 мкВ/град; середнє значення α становить -320 мкВ/град (рис. 5).

Золото за розміром зерен поділяють на тонкодисперсне ($< 0,004$ мм), середнє ($0,004-5,0$) і велике ($> 5,0$ мм). У межах рудопрояву переважає видиме середнє і дрібне золото ($0,01-0,30$ мм). Найбільші виділення золота пов'язані з брекчійованим кварцом. Воно

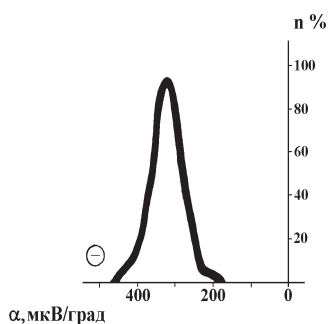


Рис. 5. Генеральна вибірка значень термо-е.р.с. галеніту.

частіше утворює міжзернові тріщинні, цементаційні, прожилкові виділення неправильної форми, наявні грудкуваті, лускуваті гострокутні зерна. Інколи простежують кристали кубічного й октаедричного габітусу. Пробність золота – 870–975 [2].

Кварц-халькопіртова асоціація складена кварцом-Пв, халькопіритом і золотом. Кварц-Пв – середньо- та дрібнозернистої структури, масивної текстури. Колір ясно-сірий до сірого. Халькопірит належить до другорядних мінералів, генетично й за часом виділення він ближчий до золота, ніж інші сульфіді. Пов'язаний із тріщинками в кварці-І халькопірит формує поодинокі виділення розміром до 0,04 мм, буває в асоціації з золотом [3, 4].

Кварц-карбонатна рання асоціація складена кварцом-Пг і карбонатом-П. Кварц-Пг разом із карбонатом-П завершує формування продуктивного комплексу. Утворює друзові виділення розміром до 3 см. Обмежено поширений карбонат-П виділявся наприкінці формування комплексу. Представлений короткопризматичними кристалами кальциту, що наростають на кристалах кварцу-Пг.

Сингенетичні (первинні) включення (друга генерація), сформовані одночасно з мінералами описуваного комплексу, поширені практично в усіх зародженнях кварцу-П (табл. 4). Для них характерні вакуолі видовженої й амебоподібної форми, розмір яких становить переважно від 0,005 до 0,0125 мм. Виявлено двофазові рідинно-газові та газорідкі включення. Наповнення рідинно-газових включень становить 20–25 %, газорідких – 70–90 %. У кварці-П трапляються двофазові включення CO_2 , рідка фаза яких займає 80–85 % об'єму вакуолі, а газова – 20–15 %. Наприклад, включення 133 (див. табл. 4) зі співвідношенням фаз 80:20 частково гомогенізується за температури 30,4 °С у рідку фазу (відповідно, густина законсервованого в ньому флюїду становить 0,579–0,585 г/см³). За результатами візуально-мікроскопічних досліджень виявилося, що в окремих випадках рідкий CO_2 займає 100 % об'єму вакуолі.











На підставі даних щодо густини флюїду (100 % CO_2) та загального температурного діапазону продуктивного мінералоутворення можна припустити, що тиск у системі мінералоутворення змінювався від 60 до 30 МПа [6].

Кварц-карбонатний мінеральний комплекс, як і на більшості рудопроявів Рахівського району та інших регіонів (Східне Забайкалля, Саяни, Ленська провінція та ін.), є завершальним. Його мінерали перетинають чи цементують усі описані комплекси. Він представлений єдиною кварц-карбонатною асоціацією.









Кварц-карбонатна пізня асоціація складена кварцом-Пш і карбонатом-Пш. Кварц-Пш представлений тоненькими переривчастими прожилками, що перетинають сформовані раніше мінерали, а також друзками в порожнинах, виповнених маленькими кристалами гірського кришталю. Мінерал також трапляється у вигляді огранених зі всіх боків кристаликів, зовнішня форма яких недосконала завдяки різному розвитку окремих граней (“виродки”). Карбонат-Пш є головним мінералом описуваного комплексу. Він представлений кальцитом, який у вигляді тоненьких (0,1–0,5 до 1 см) прожилків перетинає всі описані вище мінерали. Подекуди такі прожилки розташовані перпендикулярно один до одного, надаючи породі сітчастої текстури [6].

Таблиця 4

Температура гомогенізації та гетерогенізації флюїдних включень
 у кварці-ІІ рудопрояву Білий Потік

Номер пластинки	Номер включення	Температура і тип гомогенізації (гетерогенізації), °С	Зарисовка включення	Співвідношення рідина:газ, %
1	2	3	4	5
Кварц-піритова асоціація				
БП-397	97	275 (250), I		75:25
	99	245 (240), I		70:30
БП-297	86	245 (215), I		80:20
БП-397	92	240 (225), I		70:30
БП-197'	122	250, II		20:80
	132	265, II		25:75
Сфалерит-галенітова асоціація				
БП-997'	133	30,4 (часткова гомогенізація), I		80:20
БП-397	98	230 (225), I		70:30
БП-197	27	225 (220), I		80:20
	28	225, I		80:20

Закінчення табл. 4

1	2	3	4	5
Кварц-халькопіртова асоціація				
БП-197	2	180 (160), I		85:15
	4	175 (170), I		90:10
БП-297	56	180 (160), I		80:20
	57	175 (170), I		75:25
Кварц-карбонатна рання асоціація				
БП-297	47	140, I		85:15
БП-197'	37	150 (125), I		85:15
	38	155 (140), I		85:15
	39	155 (145), I		75:25

Сингенетичні вклучення представлені низькотемпературним водним флюїдом, рідка фаза якого займає 80–90 % об'єму вакуолі. Їхня гомогенізація завжди відбувається в рідку фазу за температури від 150–140 до 120–110, інколи – 100 °С (табл. 5).

Результати комплексного мінералого-генетичного, термобарогеохімічного дослідження вклучень у мінералах та термо-е.р.с. мінералів-напівпровідників свідчать, що в межах рудопрояву Білий Потік кожен із виділених мінеральних комплексів формувався впродовж відповідних стадій рудного процесу з мінералоутворювальних флюїдів, різні порції яких послідовно змінювали одна одну. Для кожної порції флюїдів, що надходила в область локалізації руд, був характерний тільки їй притаманний хімічний склад і термобаричний режим.

Формування руд Білого Потіку відбувалося винятково з гідротермальних флюїдів упродовж трьох стадій мінералоутворення (див. рис. 1 та 6): пірит-кварцової (350–250 °С), золото-полісульфідної (290–130) та кварц-карбонатної (140–70 °С). За цей час сформувалися три мінеральні комплекси: пірит-кварцовий, золото-полісульфідний і кварц-карбонатний. Золото відкладалося разом з мінералами золото-полісульфідного мінерального комплексу із продуктивної порції флюїдів упродовж однойменної стадії мінералоутворення. Мінеральні асоціації, утворені впродовж однієї стадії мінералоутворення, відрізняються за складом та *PT*-умовами утворення, однак їх об'єднує те, що вони сформовані з однієї порції флюїдів, тобто мають спільне походження.

Таблиця 5

Температура гомогенізації та гетерогенізації флюїдних включень
 у кварці-III рудопрояву Білий Потік

Номер пластинки	Номер включення	Температура і тип гомогенізації (гетерогенізації), °С	Зарисовка включення	Співвідношення рідина:газ, %
БП-197	1	100, I		95:5
	7	115, I		90:10
	11	115, I		85:15
	19	135 (130), I		90:10
	20	135 (135), I		80:20
	21	130 (125), I		85:15
БП-297	53	125 (105), I		85:15
	83	150 (130), I		80:20

Водночас мінеральні асоціації, сформовані впродовж різних стадій мінералоутворення, можуть бути близькими за складом, проте суттєво відрізнятися за умовами кристалізації. Діяльність кожної нової порції флюїдів поновлювалася тільки після деякої перерви в процесі мінералоутворення.

Загальний температурний діапазон процесів мінералоутворення в межах рудопрояву Білий Потік (див. рис. 1, 6) становить 350–70 °С; температурний інтервал власне продуктивного мінералоутворення – 295–130 °С.

Переважаюча маса золота виділилася за температури 220–170 °С. Тиск у системі продуктивного мінералоутворення становив 60–30 МПа; густина CO₂ продуктивних вуглекислотно-водних флюїдів – 0,579–0,585 г/см³.

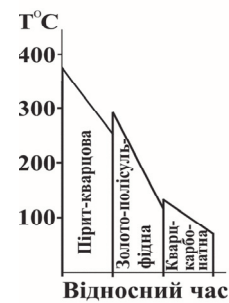


Рис. 6. Інверсійно-регресивні зміни температури мінералоутворення на рудопрояві Білий Потік.

Отже, золотоносними були середньотемпературні вуглекислотно-водні флюїди. Незважаючи на загалом складний поліциклічний характер режиму золотого зруденіння, відкладання золота відбувалося з однієї порції флюїдів упродовж золото-полісульфідної стадії процесу мінералоутворення разом з мінералами золото-полісульфідного мінерального комплексу.

Висловлюємо щиру подяку професору І. Попівняку, геологам ДГП Західукргеологія В. Шклянці, О. Нечепуренку, багатьом геологам Закарпатської експедиції та Рахівської геологічної партії за сприяння й різнобічну допомогу під час виконання робіт.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Матковський О. І. Критерії золотоносності доверхньопалеозойських метаморфічних порід Рахівського рудного району Закарпаття / О. І. Матковський, В. Б. Степанов // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. геол. – 1992. – Вип. 11. – С. 121–127.
2. Матковский О. И. Минералого-петрографические критерии золотоносности метаморфических пород Раховского района Закарпатья и их поисковое значение : Отчет / О. И. Матковский, А. А. Ясинская, В. Б. Степанов. – Львов, 1979. – 202 с.
3. Металогенія золота Українських Карпат / М. Ф. Гожик, Ю. М. Коптюх, О. І. Матковський [та ін.] // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. геол. – 1994. – Вип. 12. – С. 65–77.
4. Нечепуренко О. О. Деякі особливості локалізації золотого зруденіння у Рахівському рудному районі / О. О. Нечепуренко // Проблеми геологічної науки та освіти в Україні : наук. конф. : матеріали. – Львів, 1995. – С. 178–179.
5. Попівняк І. В. Фізико-хімічне моделювання флюїдодинамічних рудогенеруючих палеосистеми та прогнозування пов'язаного з ними зруденіння (на прикладі родовищ золота): автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра геол. наук / Іван Васильович Попівняк. – Львів, 2002. – 50 с.
6. Ціхонь С. І. Фізико-хімічні умови розвитку та зональність гідротермального зруденіння Рахівського золоторудного району (за даними термобарогеохімічних та мінералого-фізичних досліджень): автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. геол. наук / Сергій Іванович Ціхонь. – Львів, 2004. – 24 с.

*Стаття: надійшла до редакції 20.08.2013
прийнята до друку 29.11.2013*

PHYSICAL-CHEMICAL CONDITIONS AND STAGES OF ORE MANIFESTATION “BILYI POTIK” FORMING (RAKHIV ORE REGION)

S. Tsikhon, I. Konchakivskyi

*Ivan Franko National University of Lviv,
4, Hrushevskiy St., 79005 Lviv, Ukraine
E-mail: tsikhon_s@ukr.net*

Physical-chemical and mineralogical-physical properties of minerals, different age mineral associations and complexes of ore manifestation “Bilyi Potik” (Rakhiv ore region, Transcarpathians) have been investigated. The sequence of their crystallization during three stages of mineral-forming process has been found out. From data of fluid inclusions homogenization, the temperature interval of actually productive mineral forming was 295–130 °C, at the same time overwhelming mass of gold has been formed at $T = 220\text{--}170$ °C and $P = 60\text{--}30$ MPa; density of CO₂ from productive CO₂-H₂O fluids – 0,579–0,585 g/m³. It is proved that gold has been crystallized from productive portion of fluids during the gold-polysulphide stage of mineral forming together with the minerals of gold-polysulphide mineral complex.

Key words: quartz, gold, pyrite, thermoelectric power force, fluid inclusions, thermobarogeochemistry, mineral forming process, metamorphic rocks, Rakhiv ore region.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ И СТАДИЙНОСТЬ ФОРМИРОВАНИЯ РУДОПРОЯВЛЕНИЯ БЕЛЫЙ ПОТОК (РАХОВСКИЙ РУДНЫЙ РАЙОН)

С. Цихонь, И. Кончакивский

*Львовский национальный университет имени Ивана Франко,
ул. Грушевского, 4, 79005 г. Львов, Украина
E-mail: tsikhon_s@ukr.net*

Исследовано физико-химические и минералого-физические свойства минералов, разновозрастных минеральных ассоциаций и комплексов рудопроявления Белый Поток (Раховский рудный район). Выявлено последовательность их кристаллизации в течение трех стадий процесса минералообразования. По данным гомогенизации флюидных включений температурный интервал собственно продуктивного минералообразования составляет 295–130 °C; преимущественная масса золота выделялась при $T = 220\text{--}170$ °C и $P = 60\text{--}30$ МПа; плотность CO₂ продуктивных углекислотно-водных флюидов составляла 0,579–0,585 г/см³. Доказано, что золото кристаллизовалось из продуктивной порции флюидов на протяжении золото-полисульфидной стадии минералообразования вместе с минералами золото-полисульфидного минерального комплекса.

Ключевые слова: кварц, золото, пирит, термоэлектродвижущая сила, флюидные включения, термобарогеохимия, минералообразование, метаморфические породы, Раховский рудный район.