

## ПОШУКОВО-ОЦІНЮВАЛЬНІ КРИТЕРІЇ ГІДРОТЕРМАЛЬНОГО ЗРУДЕНІННЯ РАХІВСЬКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО РАЙОНУ (ЗАКАРПАТТЯ)

Сергій Ціхонь, Уляна Луцак

Львівський національний університет імені Івана Франка,  
вул. Грушевського, 4, Львів, Україна, 79005  
e-mail: [serhii.tsikhon@lnu.edu.ua](mailto:serhii.tsikhon@lnu.edu.ua)

Розроблено комплекс пошуково-оцінювальних критеріїв на золоте зруденіння Рахівського рудного району, серед яких головними є мінералого-генетичний, геолого-структурний, термобарогеохімічні та мінералого-фізичні. Головними сприятливими критеріями на золото є: поширення продуктивних мінеральних асоціацій та сингенних з ними флюїдних включень; вуглекислотноводний склад мінералотворних флюїдів, за включеннями в мінералах, густина яких не перевищує 0,5 г/см<sup>3</sup>; середньотемпературні умови мінералоутворення (280–120 °С); поширення та послідовність (від {100} + {210} до {210}) кристалізації комбінованих форм піриту, яким властиві: переважно *np*- і *p*-провідність та числові вектори (у системі координат  $PB-\alpha_{сер}$ ), орієнтовані у бік вищих значень діркової провідності; наявність галеніту, значення термо-е.р.с. якого становить понад –800 мкВ/град. На підставі розроблених критеріїв ми запропонували низку конкретних рекомендацій стосовно перспективності досліджених рудопроявів, родовища Сауляк та Рахівського золоторудного району загалом.

*Ключові слова:* критерії, продуктивні асоціації, кварц, галеніт, пірит, флюїдні включення, гомогенізація, золото.

Прогнозування золотого зруденіння пов'язане зі значними труднощами, що зумовлені складністю та багатофакторністю процесів рудоутворення, тим більше в різних геотектонічних умовах та глибинних рівнях земної кори. Тому застосовують не тільки класичні геолого-структурні, геофізичні та геохімічні методи, а й значною мірою методи дослідження термодинамічного та хімічного режимів ендегенних флюїдних палеосистем, що започатковані М. П. Єрмаковим, В. А. Калюжним, Є. М. Лазьком, Ю. О. Долговим, та розвинуті їхніми послідовниками І. Т. Бакуменком, Д. К. Возняком, Л. І. Колтуном, Ю. В. Ляховим, А. В. Пізнюром, І. В. Попівняком, М. М. Павлуном та ін.

Водночас важливим підґрунтям для прогнозової оцінки рудоносних територій та пошуків ендегенних родовищ, особливо золоторудних, є також геолого-генетична

належність зруденіння у межах потенційно золотоносних, але недостатньо вивчених територій. Саме таким за матеріалами багатьох учених (Лазаренко, 1973, 1975; Матковський, 1992; Матковський, Степанов, 1992; Степанов, 1993; Нечепуренко, Шклянка, 1999; Ціхонь, 2004; Попівняк та ін., 2006; Нечепуренко, 2010) є північно-західний фрагмент Мармароського кристалічного масиву (МКМ, (Волошин, 1981; Нечепуренко, 1999, 2010)), у межах якого розташований Рахівський золоторудний район (РЗР, рис. 1).

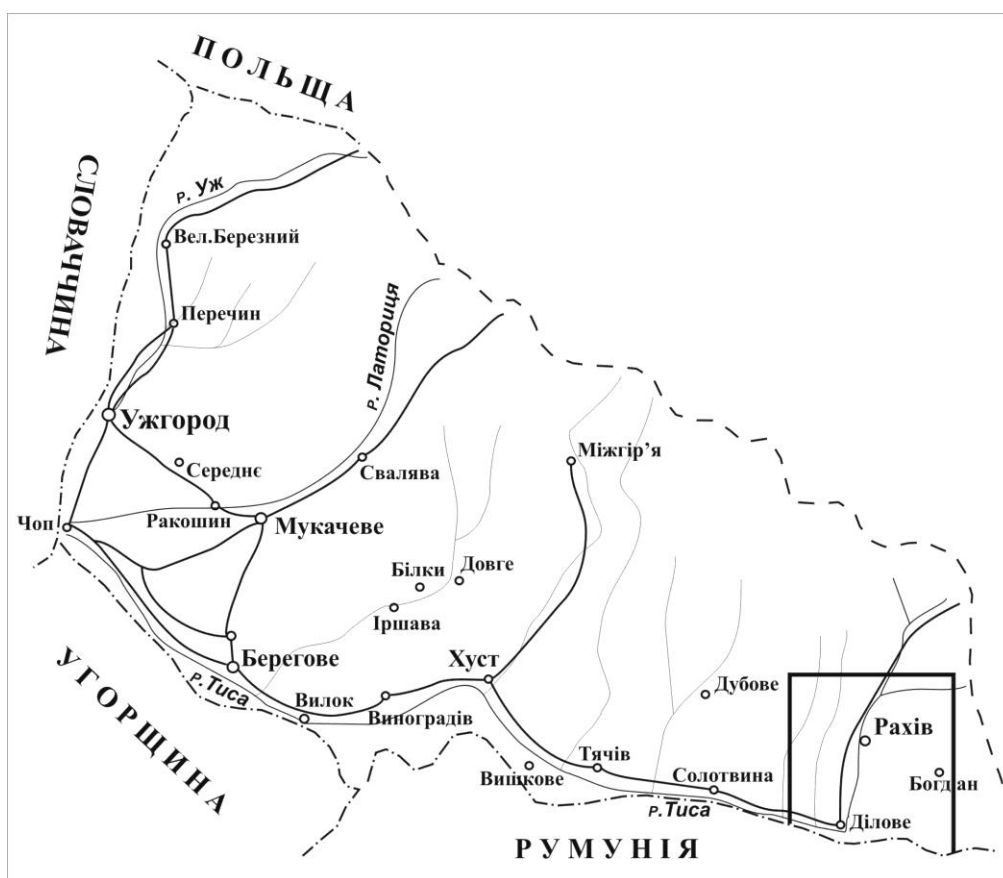


Рис. 1. Оглядова схема Закарпатської області.  
Рамкою виділено контур Рахівського рудного району

На багатьох золоторудних родовищах різних регіонів світу (Ляхов и др., 1995) виділення золота відбувалося з однієї порції флюїдів, склад якої, концентрація, тиск та температура мінералоутворення суттєво відрізнялися від попередніх та наступних. Для визначення фізико-хімічних умов мінералоутворення використано методи теоретичної і прикладної термобарогеохімії.

Результати комплексного мінералого-генетичного, термобарогеохімічного, геолого-структурного та мінералого-фізичного дослідження руд золоторудних об'єктів РЗР дали нам змогу розробити низку пошуково-оцінювальних критеріїв золотого зруденіння досліджуваного району. Найважливішими є мінералого-генетичний, термобарогеохімічний, структурно-геологічний та мінералого-фізичний критерії.

### *Мінералого-генетичний критерій*

Виділення цього критерію ґрунтується на мінералого-парагенетичному аналізі руд та дослідженні флюїдних включень у мінералах. Визначено п'ять мінеральних комплексів, формування яких відбувалося упродовж відповідних стадій рудного процесу з мінералотворних флюїдів, різні порції яких послідовно змінювали одна одну. Для кожної порції флюїдів, що надходила в область локалізації руд, характерний тільки їй притаманний хімічний склад та термобаричний режим. Водночас відкладання золота на досліджуваних об'єктах (Сауляк, Білий Потік, Камінь-Кльовка) відбувалося тільки впродовж золото-полісульфідної (продуктивної) стадії мінералоутворення з єдиної порції вуглекисотно-водних флюїдів разом з мінералами золото-полісульфідного мінерального комплексу [12, 15]. Мінеральний склад цього комплексу суттєво відрізняється від складу до- та післяпродуктивного мінеральних комплексів (рис. 2).

Виразний генетичний і просторовий зв'язок золота з такими мінералами, як сфалерит, галеніт, халькопірит, пірит-II, піротин-II та інші дає змогу розглядати ці мінерали як індикатори золотого зруденіння, адже вони кристалізувалися майже одночасно з золотом із вуглекисотно-водних флюїдів. Ця закономірність є підґрунтям мінералого-генетичного критерію прогнозування золотого зруденіння.

Застосування цього критерію в РЗР має свої особливості. Загалом, за цим критерієм, виявлення на перспективних ділянках мінералів продуктивного комплексу (кварцу-IV, піриту-II, піротину-II, галеніту, сфалериту, халькопіриту) може свідчити про високу ймовірність знаходження корисного компонента в межах досліджуваних ділянок чи ділянок, недоступних для безпосереднього спостереження. Виявлення сульфідів у складі рудних тіл, як відомо, є порівняно нескладним і експресним. Водночас виразно відрізнити продуктивний кварц-IV від до- та післяпродуктивного практично неможливо без попереднього термобарогеохімічного дослідження флюїдних включень у ньому. Очевидно, що застосування розробленого критерію можливе тільки в комплексі з іншими, зокрема з геолого-структурними особливостями району.

### *Геолого-структурний критерій*

За результатами дослідження особливостей поширення мінералів та мінеральних асоціацій у межах РЗР (Ціхонь, 2004) доведено, що ранні, допродуктивні мінеральні асоціації (піротин-кварцова, хлорит-кварцова, пірит-кварцова) поширені переважно в центральній та серединній частинах Сауляцької структури, водночас золотоносні мінеральні асоціації (кварц-пірит-сфалеритова із золотом, сфалерит-галенітова із золотом, золото-халькопіритова та кварц-карбонатна із золотом) поширені переважно у серединних і частково периферійних частинах структури. Післяпродуктивні (кварц-

карбонатна (пізня) та пірит-карбонатна) мінеральні асоціації виявлені тільки на її периферії. Тобто ранні високотемпературні мінеральні асоціації переважають у центральних та серединних блоках Сауляцької радіально-кільцевої структури, середньотемпературні (продуктивні) із золотом – у серединних та периферійних, а пізні, низькотемпературні – переважно в периферійних блоках [14].

Отже, аналіз просторового поширення допродуктивних, продуктивних і післяпродуктивних мінеральних комплексів на золоторудних проявах Рахівщини свідчить не лише про наявність мінерало-генетичної зональності золотого зруденіння РЗР, а й про певну залежність локалізації золотого зруденіння від особливостей структурно-тектонічної будови району. Така закономірність дає нам змогу виділити структурно-геологічний критерій золотого зруденіння, за яким перспективними треба вважати серединні ділянки (частини) радіально-кільцевих структур (зокрема й Сауляцької структури) [14].

За структурно-геологічним критерієм можна визначати ділянки, перспективні на виявлення корисного компонента. Однак варто взяти до уваги блокову будову Рахівського золоторудного району та різний рівень еродованості окремих блоків. Очевидно, що перспективними є слабо еродовані блоки і, навпаки, глибокоеродовані блоки Сауляцької структури, менш перспективні.

#### *Термобарогеохімічні критерії*

Серед термобарогеохімічних критеріїв важливими є температурний, вуглекислотний, густинний, баричний, декрептометричний тощо. В межах Рахівського золоторудного району ефективними є температурний, вуглекислотометричний та густиннометричний критерії.

*Температурний критерій.* Температура є одним із найважливіших показників фізико-хімічних умов мінералоутворення, що якісно характеризує умови відкладання мінеральних асоціацій та мінеральних комплексів, зокрема золотоносних. Дійсно, формування підвищених концентрацій золота (рудних стовпів) значно залежить від температури мінералоутворення [18]. За матеріалами попередників [4–6], на більшості золоторудних родовищ світу золото, зазвичай, формувалося в середньотемпературному діапазоні.

У межах Рахівського золоторудного району температурний інтервал продуктивного мінералоутворення становить 335–90 °С (Ціхонь, 2004). В цьому діапазоні температури формувалися окремі мінерали та мінеральні асоціації продуктивного комплексу разом із золотом. Водночас переважна маса золота виділилася за температури 280–120 °С (див. рис. 2).

Отже, середньотемпературні умови мінералоутворення можна розглядати як показник золотого зруденіння, причому для Рахівського рудного району найсприятливішим є інтервал температури 280–120 °С (Ціхонь, 2004).

Зважаючи на те, що процеси мінералоутворення відбувалися не тільки з плином часу, а й в просторі, то, зазвичай, прогнозування перспективності геологічних об'єктів углиб виконують за результатами дослідження мінливості палеотемпературних

характеристик у площині рудних тіл чи родовищ загалом, уздовж флюїдних палеопотоків [10].

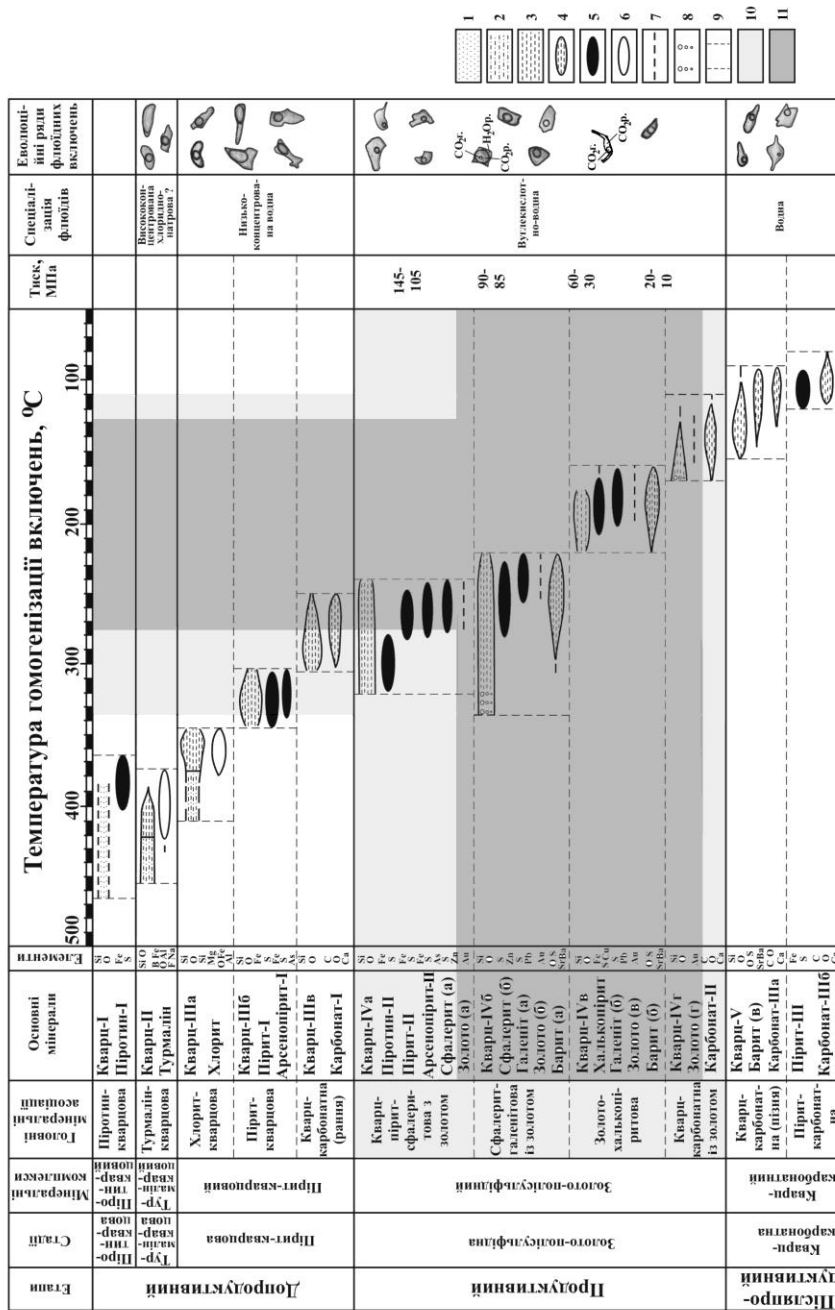


Рис. 2. Зведена температурно-парагенетична схема стадійності мінералоутворення Рахівського золоторудного району: 1–3 – агрегатний стан мінералотворних флюїдів; 1 – газоподібний; 2 – гетерогенний; 3 – рідкий; 4 – температурні інтервали відкладання мінералів за результатами гомогенізації включень; 5, 6 – інтервали виділення мінералів, припустимі за мінералогічними вилками та даними декрепітації; 5 – сульфідів; 6 – нерудних мінералів; 7 – інтервали виділення мінералів припустимі; 8 – закипання мінералотворних флюїдів; 9 – межі мінеральних асоціацій; 10, 11 – умови формування продуктивного комплексу мінералів (10) та виділення золота (11)

На жаль, сьогодні однозначних свідчень щодо мінливості температури углиб золоторудних об'єктів РЗР немає. Тому розроблений палеотемпературний критерій використано з урахуванням середніх значень палеотемпературних градієнтів, доведених щодо геологічних об'єктів інших регіонів [13]. Зважаючи на те, що для глибоких горизонтів рудних тіл на багатьох золоторудних родовищах характерні вищі значення температури порівняно із приповерхневими і підвищення значень палеотемпературного показника практично завжди спрямовано від верхніх горизонтів рудних тіл до нижніх, то у нас є підстави вважати, що високотемпературна межа найсприятливішого температурного інтервалу відкладання золота (280 °C) може характеризувати нижні (найглибші) горизонти рудних стовпів з підвищеним вмістом корисного компонента, водночас низькотемпературна межа найсприятливішого температурного інтервалу відкладання золота (120 °C) – верхні рівні рудних стовпів.

Отже, низькі значення температури на досліджуваних рівнях рудопроявів чи рудних тіл свідчатимуть про незначний рівень ерозійного зрізу рудного стовпа чи рудного тіла, тобто досліджуваний рудопрояв чи рудне тіло є перспективним на золото углиб. І навпаки, високі значення температури на досліджуваних рівнях рудних тіл чи рудопроявів свідчатимуть про глибокий рівень їхньої еродованості.

Особливо зазначимо, що наведений вище найсприятливіший температурний інтервал продуктивного мінералоутворення РЗР (280–120 °C) значно ширший порівняно з виявленими раніше для золоторудних родовищ інших регіонів [13]. Тому розроблений температурний критерій придатний для прогнозного оцінювання насамперед об'єктів РЗР.

Застосування палеотемпературного критерію в межах РЗР можливе тільки в комплексі з іншими показниками та з урахуванням його блокової будови.

*Вуглекислотометричний критерій.* За результатами дослідження флюїдних включень у мінералах допродуктивних, продуктивних та післяпродуктивних мінеральних комплексів доведено, що включення золотоносних флюїдів продуктивної порції у кварці та інших прозорих мінералах руд містять CO<sub>2</sub>, кількість якого у включенні переважно не перевищує 20–30 % об'єму вакуолі, однак інколи трапляються включення, на 100 % заповнені CO<sub>2</sub>. Водночас у до- та післяпродуктивному кварці CO<sub>2</sub> не виявлено навіть під час глибокого охолодження включень. Отже, наявність CO<sub>2</sub> можна розглядати як позитивний показник для локалізації корисного компонента.

Варто зазначити, що в межах родовища Сауляк та багатьох рудопроявів (Білий Потік, Камінь-Кльовка тощо) Рахівського рудного району на рівні сучасного ерозійного зрізу трапляються флюїдні включення, в яких CO<sub>2</sub> майже повністю відокремлений від води (відігнаний), що може свідчити про інтенсивну гетерогенізацію вуглекислотно-водних флюїдів на глибших горизонтах. Тобто на сучасному ерозійному зрізі на денну поверхню виходять лише верхні ділянки зазначених рудопроявів та родовища Сауляк. Ймовірно, на глибших горизонтах, на рівнях відокремлення чистого CO<sub>2</sub> від вуглекислотно-водних флюїдів, найінтенсивніше осідало золото і формувалися багатші рудні стовпи. А це означає, що глибші горизонти родовища Сауляк та багатьох рудопроявів Рахівського золоторудного району можна розглядати як перспективні углиб.

*Густинометричний критерій.* Для золоторудних родовищ інших регіонів характерна ритмічно-періодична інверсія густини флюїдів під час продуктивного мінералоутворення [10]. Густина золотоносних вуглекислотно-водних флюїдів стрімко зменшується зі зниженням тиску. У верхніх (надрудних) горизонтах рудних стовпів та надрудних горизонтах рудних тіл густина мінералотворних флюїдів завжди менша порівняно із підрудними горизонтами чи нижніми ділянками рудних стовпів. За матеріалами [10], порівняно мала густина флюїдів трапляється і на нижніх горизонтах, однак у підрудних ділянках завжди є високогустинні флюїди. Зокрема, у підрудних ділянках значення густини вуглекислотно-водних флюїдів часто перевищує 0,700 [13; 11; 10] чи може сягати понад 0,800–0,900 г/см<sup>3</sup> [7].

На золоторудних об'єктах РЗР продуктивними (золотоносними) були середньотемпературні вуглекислотно-водні флюїди. Ми уже зазначили, що, незважаючи на загально 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 із середньо- та низькогустинних вуглекислотно-водних флюїдів. Густина продуктивних мінералотворних флюїдів у межах золоторудних об'єктів РЗР на рівні сучасного ерозійного зрізу становить 0,815–0,225 г/см<sup>3</sup> (0,815–0,770 г/см<sup>3</sup> – Сауляк; 0,579–0,585 г/см<sup>3</sup> – Білий Потік; 0,225–0,232 г/см<sup>3</sup> – Камінь-Кльовка).

За результатами дослідження [10, 11, 13], виявлення у мінералах включень з CO<sub>2</sub>, густина якого до 0,7–0,9 г/см<sup>3</sup>, може свідчити про перспективність досліджуваних ділянок углиб.

У межах РЗР немає глибокородитих рудних тіл. Тому неможливо простежити мінливість густини флюїдів уздовж флюїдних палеопотоків. Незважаючи на це, застосування густинометричного критерію можливе з урахуванням матеріалів [7, 10, 11, 13] та в комплексі з іншими критеріями. Отже, виявлення в мінералах включень з CO<sub>2</sub>, густина якого не перевищує 0,5 г/см<sup>3</sup>, свідчить про верхній рудний та надрудний рівень досліджуваних об'єктів, а виявлення в мінералах включень з CO<sub>2</sub>, густина якого понад 0,9 г/см<sup>3</sup>, – про нижньорудний чи підрудний рівень.

### ***Мінералого-фізичні критерії***

Виділення мінералого-фізичних критеріїв на золоторудних об'єктах РЗР ґрунтується насамперед на дослідженні термоелектричних властивостей мінералів-напівпровідників, зокрема піриту та галеніту.

Результати досліджень термоелектричних властивостей мінералів-напівпровідників (Ціхонь, 2004) свідчать про те, що мінерали-напівпровідники продуктивних мінеральних асоціацій суттєво відрізняються за значеннями термо-е.р.с., вмістом елементів-домішок тощо від мінералів-напівпровідників допродуктивних та післяпродуктивних мінеральних асоціацій. Особливо виразно це виявлено стосовно піриту та галеніту.

**Пірит.** За даними (Ціхонь С. І., 2004), різновікові генерації піриту із рудопровів РЗР відрізняються між собою за морфологією, морфометрією, вмістом елементів-домішок та термоелектричними властивостями. Зокрема, пірит-II, сформований із



продуктивної порції флюїдів, суттєво відрізняється за термоелектричними властивостями від піриту, що формувався із до- та післяпродуктивної порцій. Зазвичай, пірит ранніх генерацій має електронну чи низькі значення термо-е.р.с. діркової провідності, а пірит продуктивної генерації (пірит-II) – переважно діркову провідність [17].

Послідовність кристалізації простих форм піриту в межах його різновікових генерацій теж суттєво відрізняється. Габітусні форми різновікових зароджень піриту в процесі росту його індивідів послідовно утворюють своєрідні морфогенетичні ряди кристалів цього мінералу [16]. Зокрема, на родовищі Сауляк та рудопрояві Білий Потік у морфогенетичних рядах піриту-I кристали ранніх зароджень, зазвичай, мають форму кубооктаедра, а пізніх – куба (переважна форма піриту-I), водночас в аналогічних рядах піриту-II кристали ранніх зароджень мають габітус, що визначається комбінаціями куба та пентагондодекаедра, а пізніх – пентагондодекаедра (переважна форма піриту-II). Між крайніми габітусними формами цих рядів є кристали, морфологія яких визначається комбінацією, передусім, домінуючих простих форм, утворених у процесі поступового доростання піриту-I та піриту-II в умовах діяльності відповідних порцій флюїдів [16].

Прогностичне значення має насамперед закономірність, доведена щодо піриту-II, згідно з якою габітус ранніх кристалів піриту-II визначається комбінацією куба і пентагондодекаедра з переважанням куба, а пізніх – теж комбінацією куба і пентагондодекаедра з переважанням останнього аж до “чистого” пентагондодекаедра [16]. Ця закономірність проявлена і в просторі в межах РЗР. Поширення морфогенетичних різновидів кристалів піриту-II в межах РЗР має тенденцію, відповідно до якої ранні форми піриту-II переважають у серединних ділянках Сауляцької РКС, а пізні – поширені в периферійних ділянках цієї структури (рис. 3) [16]. Зважаючи на те, що в серединних ділянках СРКС поширені середньотемпературні асоціації продуктивного комплексу, а в периферійних – низькотемпературні, і що температура мінералоутворення практично на всіх золоторудних родовищах світу [13] має тенденцію до збільшення углиб рудних тіл чи родовищ, можливо передбачити, що ранні кристали піриту-II матимуть за переважну форму комбінацію куба і пентагондодекаедра, а пізніші кристали у верхньорудних рівнях рудних стовпів матимуть габітус, що теж визначається комбінацією куба і пентагондодекаедра, проте з переважанням останнього, чи “чистим” пентагондодекаедром.

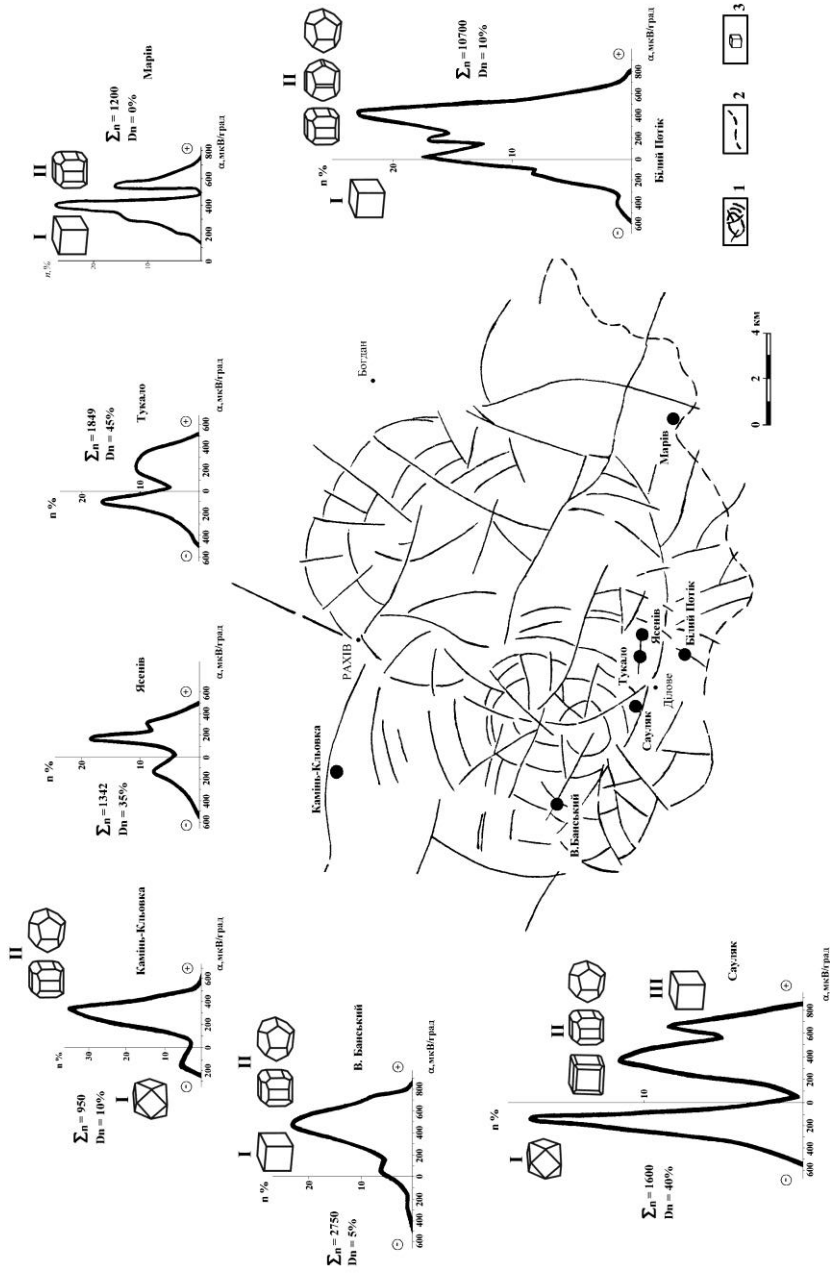


Рис. 3. Морфогенетичні ряди кристалів піриту в межах перспективних проявів Рахівського золоторудного району та їхні термоелектричні властивості: 1 – Сауляцька радіально-кільцева структура [2]; 2 – державний кордон; 3 – габітусна форма кристалів піриту.  $D_n$  – відсоток електронної провідності в піриті [8]

Важливо і те, що золотоносний (продуктивний) пірит відрізняється від допродуктивного піриту не тільки за морфологією, морфометрією, вмістом елементів-домішок, термоелектричними властивостями, а й за орієнтуванням числових термоелектричних векторів (т.е.р.с.-вектори) у системі координат РВ (розмах вибірки) –  $\alpha_{\text{ср}}$  та за рядами морфогенетичних його форм [16].

Так, у межах рудопроявів Білий Потік і Банський виявлено дві генерації піриту: пірит-I та пірит-II (Ціхонь С. І., 2004). Для піриту-I числові т.е.р.с.-вектори спрямовані від високих значень термо-е.р.с. діркової провідності в бік низьких значень діркової та електронної [16]. Водночас для піриту-II із рудопроявів Білий Потік і Банський числові т.е.р.с.-вектори спрямовані від значень термо-е.р.с. електронної провідності в бік діркової (рис. 4 та 5).

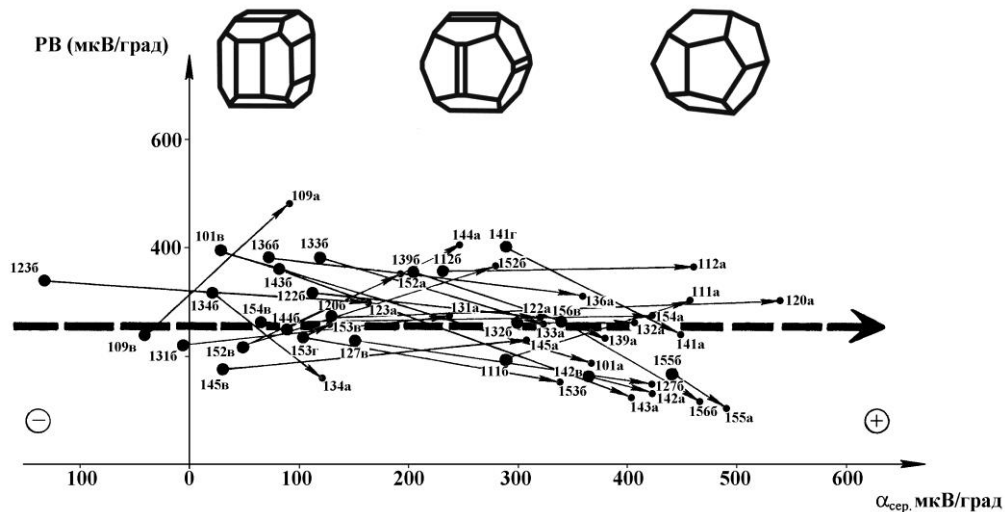


Рис. 4. Зміна розмахів вибірок (РВ) та середніх значень термо-е.р.с. ( $\alpha_{\text{ср}}$ ) піриту-II від внутрішніх ділянок кристалів (початок стрілки) до зовнішніх (кінець стрілки). Числові т.е.р.с.-вектори (суцільні стрілки) відображають напрям зміни термоелектричних властивостей окремих кристалів піриту-II, набутих упродовж їхнього росту. Жирною пунктирною стрілкою показано загальну тенденцію зміни термоелектричних властивостей піриту-II рудопрояву Білий Потік

Отже, пірит ранніх генерацій відрізняється від піриту продуктивної генерації, а інколи і від пізніших генерацій за комплексом ознак (морфологічними та морфометричними характеристиками, складом елементів-домішок, послідовністю кристалізації його простих форм, термоелектричними властивостями та орієнтуванням числових т.е.р.с.-векторів у системі координат РВ– $\alpha_{\text{ср}}$ ).

Виявлені типоморфні особливості різновікових генерацій піриту дають змогу відрізнити пірит-I (сформований із допродуктивної порції флюїду) від піриту-II, що кристалізувався водночас із золотом (із продуктивної порції флюїду). Це ми використали як критерій для прогнозування золотого зруденіння в Рахівському рудному районі.

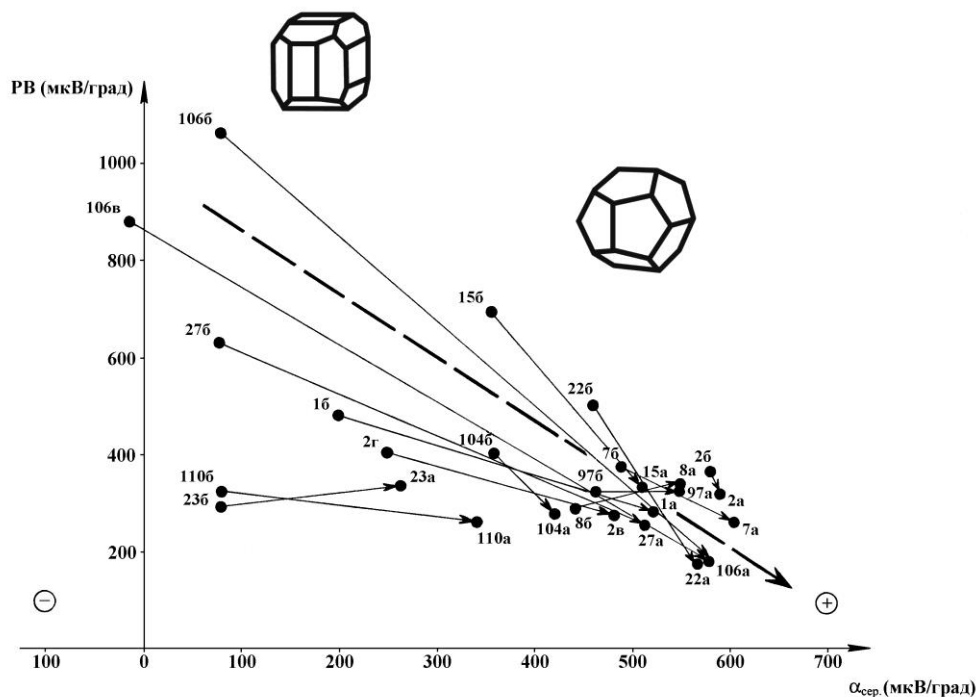


Рис. 5. Зміна розмахів вибірок (РВ) та середніх значень термо-е.р.с. ( $\alpha_{ср.}$ ) піриту-II від внутрішніх ділянок кристалів (початок стрілки) до зовнішніх (кінець стрілки). Числові т.е.р.с.-вектори (суцільні стрілки) відображають напрям зміни термоелектричних властивостей окремих кристалів піриту-II, набутих упродовж їхнього росту. Жирною пунктирною стрілкою показано загальну тенденцію зміни термоелектричних властивостей піриту-II рудопрояву Білий Потік

Зважаючи на те, що морфологію та морфометрію піриту можна визначити ще під час польових робіт, а вимірювання значень термо-е.р.с. цього мінералу є досить експресним, використання цього критерію є досить вигідним і може передувати докладним термобарогеохімічним дослідженням [1, 9, 10].

Очевидно, що за цим мінералого-фізичним критерієм можна експресно виявляти ділянки, перспективні стосовно корисного компонента.

Однак щодо застосування типоморфних властивостей піриту як критерію золотоносності потрібно виявляти певну обережність, адже різні золоторудні об'єкти

відрізняються між собою значеннями термо-е.р.с., особливостями комбінування простих форм піриту і навіть кількістю генерацій цього мінералу. Тому на кожному досліджуваному рудопрояві прогностичні рішення треба приймати тільки після проведення докладних досліджень піриту, визначення кількості генерацій цього мінералу, послідовності їхнього росту тощо й обов'язково в комплексі з термобарогеохімічними та іншими матеріалами.

**Галеніт.** Галеніт, як відомо, практично на всіх золоторудних родовищах тісно асоціює із золотом. Відповідно до мінералого-генетичного критерію, наведеного вище, цей мінерал є майже безпосередньою ознакою, що свідчить про наявність золота на ділянках його поширення. Водночас галеніт асоціює із золотом практично на всіх гіпсометричних рівнях рудних стовпів: верхньорудному, рудному та нижньорудному [3, 11, 13]. Важливо те, що за термоелектричними властивостями галеніт верхньо- та нижньорудних ділянок виразно відрізняється. Наші попередники [9, 11] на прикладі Баарун-Холбинського золоторудного родовища довели, що середні значення термо-е.р.с. галеніту закономірно змінюються у напрямі від верхніх горизонтів рудних стовпів до нижніх. Значення електронної термоелектропровідності галеніту поступово знижуються від верхніх горизонтів ( $-450$  мкВ/град.) до нижніх ( $-390$  мкВ/град.). У підрудних ділянках рудних тіл цього родовища значення термо-е.р.с. галеніту не перевищували  $-100$  мкВ/град., а в надрудних – завжди були вищими за  $-800$  мкВ/град.

Під час дослідження термоелектричних властивостей галеніту родовища Сауляк доведено, що на рівні горизонту штольні №1 значення термо-е.р.с. виділень цього мінералу, що безпосередньо асоціюють з золотом, становлять  $-270$  мкВ/град. (від  $-360$  до  $-110$  мкВ/град.; рис. 6).

Середні значення термо-е.р.с. галеніту із рудопрояву Камінь-Кльовка становлять  $-455$  мкВ/град. (від  $-740$  до  $-180$  мкВ/град.); рудопрояву Білий Потік  $-320$  мкВ/град. (від  $-380$  до  $-260$  мкВ/град.); Банський  $-485$  мкВ/град. (від  $-660$  до  $-230$  мкВ/град.).

Закономірності, виявлені під час дослідження термоелектричних властивостей галеніту, поширеного на рудопроявах Рахівського золоторудного району з урахуванням матеріалів наших попередників [9], використано як критерій для оцінки рівня ерозійного зрізу досліджуваних рудних тіл. Якщо значення термо-е.р.с. галеніту досліджуваного рудного тіла не перевищують  $-100$  мкВ/град., то можна вважати, що це рудне тіло є глибоко еродованим, і навпаки, якщо значення термо-е.р.с. галеніту на досліджуваному рівні рудного тіла становлять понад  $-800$  мкВ/град., то досліджуваний рівень є надрудним, а глибокі горизонти рудного тіла перспективні на золото.

Ураховуючи, що середні значення термо-е.р.с. галеніту із рудопрояву Камінь-Кльовка становлять  $-455$  мкВ/град.; Білий Потік  $-320$  мкВ/град.; Банський  $-485$  мкВ/град., ми припускаємо високу перспективність глибоких горизонтів цих рудопроявів.

Отже, розроблено комплекс мінералого-генетичних, геолого-структурних, термобарогеохімічних та мінералого-фізичних пошуково-оцінювальних критеріїв золотого зруденіння Рахівського рудного району, серед яких головними сприятливими є:

– поширення продуктивних мінеральних асоціацій та сингенних з ними флюїдних включень;

– вуглекисотно-водний склад мінералотворних флюїдів, за включеннями в мінералах, густина яких не перевищує  $0,5 \text{ г/см}^3$ ;

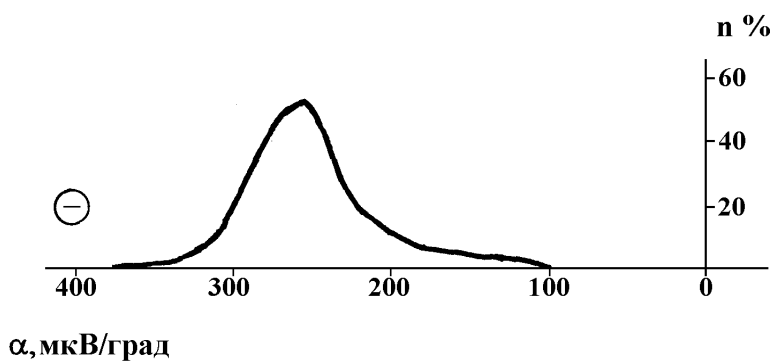
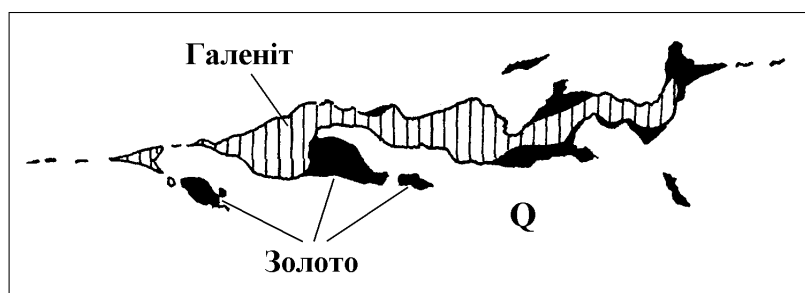


Рис. 6. Прожилок галеніту із золотом у кварці та варіаційна крива значень термо-е.р.с. галеніту (родовище Сауляк)

– середньотемпературні умови мінералоутворення ( $280-120 \text{ }^\circ\text{C}$ );

– поширення та послідовність (від {100} + {210} до {210}) кристалізації комбінованих форм піриту, яким властиві: переважно *np*- і *p*-провідність та числові вектори росту (у системі координат  $PB-\alpha_{ср}$ ) орієнтовані у бік вищих значень діркової провідності;

– наявність галеніту, значення термо-е.р.с. якого становить понад  $-800$  мкВ/град.;

– серединні та периферійні блоки у секторах радіально-кільцевих структур (насамперед Сауляцької).

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Князев Г. И., Куделя В. К. Полупроводниковые свойства галенитов и пиритов как критерий условий рудообразования. Киев : Наук. думка, 1969. 115 с.; Попивняк И. В. Об использовании типоморфных признаков пирита в поисковой и оценочной практике // Минералог. сб. Львовск. ун-та. Львов : Изд-во Львов. ун-та, 1976. № 30. Вып. 1. С. 39–46.
2. Колодій О. М., Колодій Е. О., Нечепуренко О. О., Попивняк І. В., Шклянка В. М. Структурно-мінералогічна зональність Рахівського золоторудного району та прогноз нових рудовмісних зон (за геоіндикацією космознімків і топомінералогічним аналізом) // Наукові основи прогнозування, пошуків та оцінки родовищ золота: Матеріали міжнар. наук. конф. Львів, 1999. С. 70–71.
3. Лазько Е. М., Ляхов Ю. В., Пизнюр А. В. Физико-химические основы прогнозирования постмагматического оруденения. Москва : Наука, 1981. 286 с.; Термобарогеохимия золота / Ю. В. Ляхов, Н. Н. Павлунь, А. В. Пизнюр, И. В. Попивняк. Львів: Світ, 1995. – 280 с.
4. Лазько Е. М., Ляхов Ю. В. К вопросу о температурной систематике постмагматических месторождений // Зап. Всесоюз. минерал. об-ва. 1968. Ч. 97. С. 364–367.
5. Лазько Е. М., Ляхов Ю. В. О температурной систематике постмагматических месторождений и прогнозирования оруденения на основе данных термобарогеохимии // Изв. ВУЗов. Геол. и разведка. 1976. № 5. С. 33–52.
6. Ляхов Ю. В. Термобарогеохимические исследования температурно-фациальной зональности, их значение для поисков и оценки гидротермальных рудных месторождений // Использование методов термобарогеохимии при поисках и изучении рудных месторождений. Москва, 1982. С. 213–220.
7. Майське золоторудне родовище (геологія, речовинний склад руд, модель утворення) / Бобров О. Б., Сіворонов А. О., Меркушин І. Є. та ін. Дніпропетровськ : Вид-во 2000. – 186 с.
8. Методические рекомендации по использованию электрических свойств рудных минералов для изучения и оценки эндогенных месторождений / Красников В. И., Фаворов В. А., Суматохин В. А. и др. Ленинград : ВСГЕИ, 1983. 91 с.

9. Опыт использования типоморфных особенностей пирита при оценке глубоких горизонтов одного из золоторудных месторождений Восточного Саяна / Попивняк И. В., Ясинская А. А., Зирченко Ю. П. и др. / Минералогич. сб. Львов. ун-та. Львов : Изд-во Львов. ун-та, 1985. № 39. Вып. 1. С. 21–31.
10. Попівняк І. В. Фізико-хімічне моделювання флюїдодинамічних рудогенеруючих палеосистеми та прогнозування пов'язаного з ними зруденіння (на прикладі родовищ золота) : автореф. дис. ... д-ра геол. наук. Львів, 2002. 50 с.
11. Попівняк І. В. Комплекси термобарогеохімічних критеріїв золотого зруденіння та особливості їх реалізації у прогнозно-пошуковій практиці // Праці наук. товариства імені Шевченка: матеріалознавство і механіка матеріалів, хемія, медицина, екологія, екотехнології. 1998. Т.11. С. 638–667.
12. Попівняк І., Ціхонь С., Олійник Т., Ніколенко А., Ніколенко П., Марусяк В. Фізико-хімічні умови і стадійність формування золоторудного родовища Сауляк (Рахівський рудний район) // Мінерал. зб. 2006. № 56. Вип. 1–2. С. 76–97.
13. Термобарогеохимия золота / Ю. В. Ляхов, Н. Н. Павлунь, А. В. Пизнюр, И. В. Попивняк. Львів : Світ, 1995. 280 с.
14. Ціхонь С. І. Мінералогічна зональність золотого зруденіння Рахівського рудного району // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. геол. 2003. Вип. 17. С. 69–85.
15. Ціхонь С. І., Попівняк І. В., Гонко Л. М., Костюк О. П., Марусяк В. П., Школка В. В. Фізико-хімічні умови формування рудопрояву Камінь-Кльовка (Рахівський рудний район, Закарпаття) // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. геол. 2004. Вип. 18. С. 247–255.
16. Ціхонь С. І., Попівняк І. В., Городечний А. І. Кристаломорфогенетичні ряди піриту різновікових генерацій золоторудних об'єктів Рахівського рудного району // Мінерал. зб. 2004. № 54. Вип. 1. С. 77–86.
17. Ціхонь С. І. Фізико-хімічні умови розвитку та зональність гідротермального зруденіння Рахівського золоторудного району (за даними термобарогеохімічних та мінералого-фізичних досліджень) : автореф. дис. ... канд. геол. наук. Львів, 2004. 24 с.
18. Шер С. Д. Металлогения золота. Москва : Наука, 1974. 255 с.

Стаття: надійшла до редакції 13.01.2021  
прийнята до друку 12.02.2021



**RESEARCH AND EVALUATION CRITERIA OF HYDROTHERMAL  
OREGINATION OF RAKHIV GOLD ORE REGION  
(TRANSCARPATHIA)****Serhii Tsikhon, Uliana Luchak**

*Ivan Franko National University of Lviv  
Hrushevskogo Str., 4, Lviv, 79005, Ukraine  
e-mail: serhii.tsikhon@lnu.edu.ua*

Complex of the searching-valuation criterions of the Rakhiv ore region gold mineralization have been elaborated. The main amongst them are mineralogy-genetic, geology-structural, thermobarogeochemical and mineralogy-physical ones. The main favorable criteria for gold are: the spread of productive mineral associations and syngeneic fluid inclusions with them; carbon dioxide-water composition of mineral-forming fluids, inclusions in minerals, the density of which does not exceed  $0.5 \text{ g/cm}^3$ ; medium temperature conditions of mineral formation ( $280\text{--}120 \text{ }^\circ\text{C}$ ); distribution and sequence (from {100} + {210} to {210}) of crystallization of combined forms of pyrite, which are characterized by: mainly np- and p-conductivity and numerical vectors (in the coordinate system  $RV - \alpha_{\text{average}}$ ), oriented towards higher values hole conductivity; the presence of galena, the value of thermoelectric force which is more than  $-800 \mu\text{V/deg}$ . Based on the developed criteria, we offered a number of specific recommendations on the prospects of the studied ore occurrences, Saulyak deposit and Rakhiv gold ore district in general.

*Key words:* criterion, productive associations, quartz, galena, pyrite, fluid inclusions, homogenization, gold.