

УДК 549.324.31(477.87)

**КРИСТАЛОМОРФОГЕНЕТИЧНІ РЯДИ
ПІРИТУ РІЗНОВІКОВИХ ГЕНЕРАЦІЙ
ЗОЛОТОРУДНИХ ОБ'ЄКТІВ РАХІВСЬКОГО РУДНОГО РАЙОНУ
(ЗАКАРПАТТЯ)**

С. Ціхонь, І. Попівняк, А. Городечний

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

На золоторудних об'єктах Рахівського рудного району вперше виявлено різновікові кристаломорфогенетичні ряди піриту, габітусні форми якого в процесі росту закономірно змінювалися від ранніх зароджень до пізніх; водночас послідовно сформовані прості форми піриту в складі продуктивних на золото комплексів суттєво відрізняються від непродуктивних (за морфологією, морфометрією, вмістом елементів-домішок, термоелектричними властивостями, послідовністю кристалізації простих форм у межах кожного ряду), що є типоморфною ознакою.

Ключові слова: пірит, габітус, елементи-домішки, термоелектричні властивості, золото, Рахівський рудний район.

У межах Рахівського рудного району (РРР) типовими та найдетальніше вивченими золоторудними об'єктами є родовище Сауляк, рудопрояви Білий Потік, Камінь-Кльовка, Банський, Марів, на яких ми детально дослідили різновікові генерації піриту, зокрема його морфологію, термоелектричні властивості, вміст елементів-домішок і послідовність кристалізації простих форм. На кожному із досліджених об'єктів виділено дві генерації піриту: пірит-I та пірит-II (на родовищі Сауляк також виділено пізніший пірит-III).

Особливості кристаломорфології піриту. *Пірит першої генерації* є найранішим і найпоширенішим із сульфідних мінералів у межах усього РРР. Він трапляється як у вмісних породах, утворюючи ореоли піритизації, так і в кварцових жилах та прожилках. На всіх об'єктах пірит-I представлений монокристалами, головною габітусною формою яких є куб. Інколи зовнішній вигляд мінералу ускладнений, визначений комбінацією куба (60–70 до 80–95 % поверхні кристала) й октаедра (40–30 до 20–5 %). На рис. 1 показано типові габітусні форми піриту-I. Такі комбіновані форми кристалів піриту-I трапляються на Сауляку, рудопроявах Білий Потік, Камінь-Кльовка, Берлибаш, Тукало. Розмір кристалів піриту-I у середньому 0,5–4,0 мм. На гранях куба інколи є штрихування. Також трапляються агреговані виділення піриту-I розміром до 2–5 см на контакті кварцу та вмісної породи (Камінь-Кльовка). Досить часто кристали цього піриту з поверхні майже повністю окиснені, вкриті бордовою гетитовою плівкою (Берлибаш, Банський, Білий Потік).

Зазвичай пірит-I асоціює з кварцом-III, арсенопіритом-I, інколи з турмаліном (рудопрояв Банський).



Рис. 1. Типові габітусні форми піриту-I.

Пірит другої генерації поширений обмеженіше, ніж пірит-I, проте порівняно з іншими сульфідами трапляється досить часто. Він пов'язаний із зальбандами жил і прожилків, є у вмисних породах, де утворює рясні ореоли піритизації, інколи наявний на дзеркалах ковзання. Пірит-II на всіх досліджуваних золоторудних об'єктах простежується у вигляді як ідіоморфних кристалів (0,1–3,0 мм), так і прожилків, що незгідні зі сланцюватістю вмисних порід. Провідною габітусною формою піриту-II є пентагондодокаедр, однак часто трапляються комбінації пентагондодокаедра, куба й октаедра (рис. 2), а інколи – “чисті” пентагондодокаедри, розмір яких не перевищує 1,0 мм (Білий Потік, Берлибаш).



Рис. 2. Типові габітусні форми піриту-II.

На рудопроявах Берлибаш і Банський цей мінерал з поверхні теж частково буває окиснений і заміщений гідроксидами заліза у вигляді бордової плівки. За результатами рентгеноструктурного аналізу, поверхнева плівка складена гетитом. У внутрішній частині кристалів зберігся незмінений пірит. Інколи грані пентагондодокаедра й куба мають блокову будову, на них помітне штрихування. Часті кристали піриту-II неправильної форми (асиметричні), з нерівною поверхнею. Зазвичай вони мають грубу штрихуватість чи випуклість і за зовнішнім виглядом інколи нагадують діжечку. Також вони бувають трішки приплюснуті або витягнуті за віссю L_3 .

Отже, пірит-II, що кристалізувався із продуктивних мінералотворних флюїдів, виразно відрізняється за кристаломорфометричними характеристиками від піриту-I, що кристалізувався із допродуктивних флюїдів.

Зазначимо, що в межах РРР значно поширені ускладнені комбіновані форми піриту, що сформувалися під час доростання кристалів ранньої генерації із флюїдів пізнішої порції та під впливом асиметрії мінералотворного середовища [1, 3, 4] (рис. 3).

Термоелектричні властивості піриту. Кристаломорфологію піриту-I та -II досліджено водночас із детальним вивченням їхніх термоелектричних властивостей. Результати дослідження термо-е.р.с. піриту із рудопроявів РРР свідчать не тільки про суттєву відмінність значень термо-е.р.с. між різними генераціями цього мінералу, а й між їхніми зародженнями в межах окремих генерацій. Водночас виявлено відмінність термоелектричних властивостей піриту на гранях кристалів різних габітусних форм та в їхніх внутрішніх ділянках.

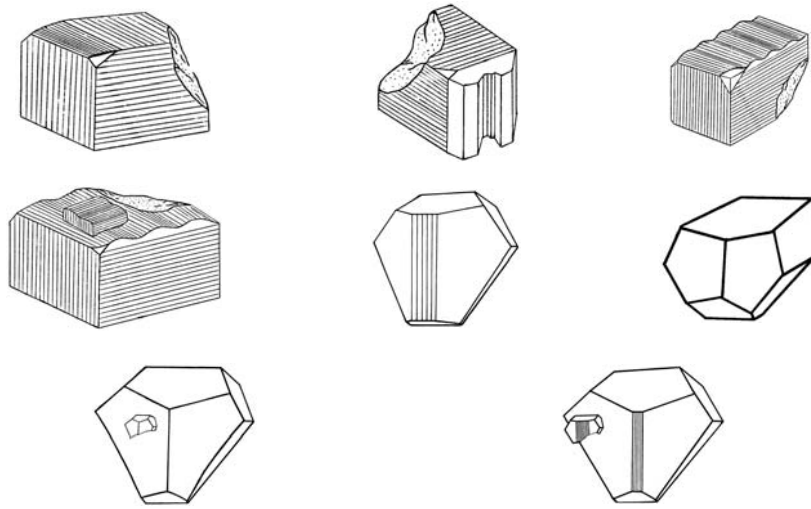


Рис. 3. Ускладнені комбіновані форми піриту, поширені в межах Рахівського рудного району.

Зокрема, пірит ранніх генерацій у межах РРР [1–3] завжди має електронну провідність чи низькі значення термо-е.р.с. діркової провідності (виняток – рудопрояв Марів; табл. 1). Пірит пізніх генерацій [1–3] має винятково діркову провідність (див. табл. 1, рис. 4).

Таблиця 1
Термоелектричні властивості різновікових генерацій піриту золоторудних об'єктів Рахівського рудного району, мкВ/град

Золоторудні об'єкти	Діапазон значень термо-е.р.с.		Середнє значення термо-е.р.с.	
	Пірит-I	Пірит-II	Пірит-I	Пірит-II
Сауляк	(-520)-(490)	(-110)-(680)	-210	290
Білий Потік	(-540)-(720)	(-300)-(700)	143	351
Камінь-Кльовка	(-250)-(-10)	(-50)-(500)	-115	295
Банський	(-280)-(-100)	(-400)-(760)	-180	300
Марів	200-810	20-740	454	340

Отже, результати дослідження термоелектричних властивостей різновікових генерацій піриту свідчать, що пірит-I, сформований із допродуктивної порції флюїдів, відрізняється від піриту-II, що кристалізувався із флюїдів продуктивної порції, не тільки за морфометричними характеристиками, а й за термоелектричними властивостями.

Комбіновані форми піриту, що утворилися під час доростання кристалів ранньої генерації із флюїдів пізньої порції та ускладнені під впливом асиметрії мінералотворного середовища, мають головно змішану провідність [1, 3].

Загалом, аналіз мінливості термоелектричних властивостей різновікових генерацій піриту, пов'язаних з їхніми морфологічними особливостями, свідчить про

певну взаємозалежність цих показників у процесі росту кристалів і доводить правильність виділення різновікових генерацій мінералу.

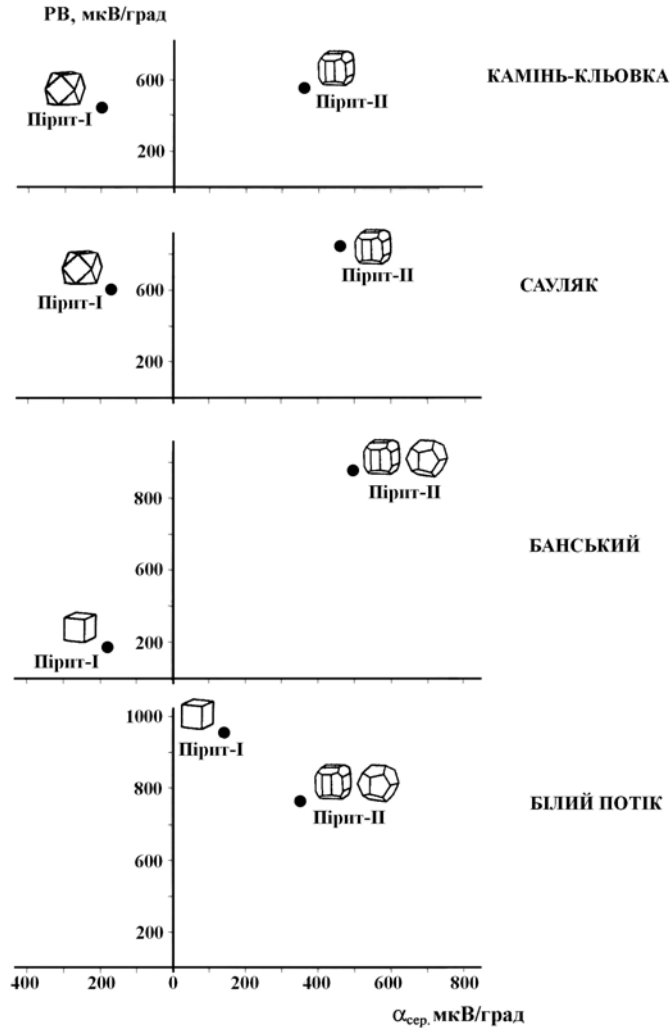


Рис. 4. Термоелектричні властивості різновікових генерацій піриту золоторудних об'єктів Рахівського рудного району. На діаграмі позначено фігуративні точки за середніми значеннями термо-е.р.с. та розмахів вибірок піриту-I та -II.

Унаслідок порівняння значень термо-е.р.с. у внутрішніх ділянках кристалів піриту й на їхній поверхні ми виявили виразну тенденцію зміщення середньостатистичних значень $\alpha_{ср}$ цього показника від центральних ділянок кристалів до периферійних:

- для піриту-I – у напрямі від діркової термоелектропровідності до електронної (табл. 2 та 3);
- для піриту-II – у протилежному напрямі: від електронної і низьких значень

діркової до середніх та високих значень діркової термоелектропровідності (див. табл. 2 та 3).

Таблиця 2

Значення термо-е.р.с. різновікових генерацій піриту на гранях і внутрішніх ділянках кристалів, мкВ/град

Рудопрояв	Пірит-I		Пірит-II	
	внутрішні ділянки	грані	внутрішні ділянки	грані
Білий Потік	(-120)-(720)	(-540)-(720)	(-300)-(500)	(-240)-(700)
Банський	-	(-100)-(-280)	(-400)-(760)	120-760
Марів	200-710	200-810	200-740	20-730

Таблиця 3

Зміщення середніх значень термо-е.р.с. різновікових генерацій піриту від внутрішніх ділянок його кристалів до зовнішніх, мкВ/град

Генерація піриту	$\alpha_{\text{сєр}}$, мкВ/град	Напрям зміщення $\alpha_{\text{сєр}}$ від внутрішніх ділянок кристалів до площин їхніх граней	$\alpha_{\text{сєр}}$, мкВ/град
Білий Потік			
Пірит-I	143	←————●	332
Пірит-II	155	●————→	351
Марів			
Пірит-I	405	●————→	454
Пірит-II	340	←————●	415
Банський			
Пірит-I	-	-	-
Пірит-II	300	●————→	500

Вміст елементів-домішок у різновікових генераціях піриту. Як зазначено вище, на термоелектричні властивості піриту, окрім багатьох інших чинників, значно впливає кількість елементів-домішок у його складі. Тому ми детально дослідили лазерним мікроспектральним аналізом (аналітик Л.П. Дручок; ІГГК НАН України та НАК “Нафтогаз України”) якісний і кількісний склад елементів-домішок у кристалах піриту різних генерацій із золоторудних об’єктів РРР. Зазначимо, що елементи-домішки визначено на різних гранях простих форм і у внутрішніх ділянках кристалів (табл. 4).

У піриті першої генерації на гранях і у внутрішніх ділянках виявлено такі елементи-домішки: Cu, Ni, Ti та Co. На гранях кристалів переважають Cu, Ni, Ti, а у внутрішніх ділянках – Co (рис. 5). Однак трапляються винятки, наприклад, на рудопрояві Марів, де серед елементів-домішок на гранях піриту цієї генерації переважає Cu (див. табл. 4).

У піриті другої генерації на гранях і у внутрішніх ділянках трапляються ті ж елементи: Cu, Ni, Ti та Co. Однак на гранях переважають Cu і Ti, а у внутрішніх ділянках – Co, Ni та Ti (див. табл. 4).

Отже, різновікові генерації піриту відрізняються і за вмістом у них елементів-домішок.

Таблиця 4

Елементи-домішки у піриті золоторудних об'єктів
Рахівського рудного району

Номер проби	Номер кристала	Місце вимірювань	Елементи-домішки, %			
			Cu	Co	Ni	Ti
1	2	3	4	5	6	7
Сауляк						
1	1/8a	Пентагондодекаедр	0,019	–	0,045	–
	1/8в	Внутрішня частина	–	0,079	0,039	0,059
	1a	Куб, октаедр	0,098	–	0,062	0,178
	1б	Внутрішня частина	0,020	–	0,067	0,123
	6a	Куб зі штрихуванням	0,054	–	0,059	0,079
	6в	Внутрішня частина	0,029	0,164	0,072	–
	38a	Куб зі штрихуванням	0,044	–	0,093	–
	38в	Внутрішня частина	0,031	0,078	0,049	Сліди
	40a	Куб	0,323	0,041	0,194	0,063
43a	Куб зі зростком	0,021	–	–	–	
43б	Внутрішня частина	0,129	–	–	–	
Білий Потік						
БП-397	150	Куб, октаедр	0,372	0,037	0,027	0,484
БП-997	145a	Куб, пентагондодекаедр, октаедр	0,004	–	0,021	–
	141a	Пентагондодекаедр, куб, октаедр	+	–	–	–
	142a	Куб, пентагондодекаедр	+	–	Сліди	–
	154a	Пентагондодекаедр, куб	+	–	–	–
БП-1697	97	Пентагондодекаедр	0,120	–	0,029	0,162
	103	Куб, пентагондодекаедр	0,012	–	0,050	–
	133a	Куб, пентагондодекаедр, октаедр	0,011	–	0,028	–
	107a	Пентагондодекаедр, куб, октаедр	0,028	0,060	0,045	–
	137a	Куб, пентагондодекаедр, октаедр	0,007	0,047	0,025	–
	99	Куб, пентагондодекаедр	+	–	–	+
	100a	Куб	+	–	–	–
	100в	Внутрішня частина	+	–	–	–
135a	Куб, пентагондодекаедр	+	+	–	–	
БП-1797	121	Пентагондодекаедр, октаедр	0,031	–	0,022	0,014
	109a	Пентагондодекаедр, куб	0,030	–	–	0,033

	119	Пентагондодекаedr, куб	0,012	–	–	0,029
	108	Пентагондодекаedr, куб, октаedr	0,011	–	–	0,035

Закінчення табл. 4

1	2	3	4	5	6	7
БП-1797	124а	Пентагондодекаedr	+	–	Сліди	–
	124в	Октаedr	+	–	Сліди	–
	124г	Куб	+	+	–	–
БП-397	150	Куб, октаedr	0,372	0,037	0,027	0,484
БП-997	145а	Куб, пентагондодекаedr, октаedr	0,004	–	0,021	–
	141а	Пентагондодекаedr, куб, октаedr	+	–	–	–
	142а	Куб, пентагондодекаedr	+	–	Сліди	–
	154а	Пентагондодекаedr, куб	+	–	–	–
БП-1697	97	Пентагондодекаedr	0,120	–	0,029	0,162
	103	Куб, пентагондодекаedr	0,012	–	0,050	–
	133а	Куб, пентагондодекаedr, октаedr	0,011	–	0,028	–
	107а	Пентагондодекаedr, куб, октаedr	0,028	0,060	0,045	–
	137а	Куб, пентагондодекаedr, октаedr	0,007	0,047	0,025	–
Банський						
ВБ-199	1а	Пентагондодекаedr, куб	+	–	+	–
	1б	Внутрішня частина	+	–	+	–
	8а	Пентагондодекаedr, куб	+	–	+	–
	8б	Внутрішня частина	–	–	–	+
	15а	Пентагондодекаedr, куб	+	–	+	–
ВБ-599	106а	Пентагондодекаedr, куб	+	–	+	–
	106б	Внутрішня частина	+	–	–	–
ВБ-699	110а	Куб зі штрихуванням	+	+	+	–
Марів						
ІВ-199	7а	Куб	0,312	–	–	–
	7б	Внутрішня частина	0,021	0,063	–	–
	8а	Куб	0,039	–	–	–
	8б	Внутрішня частина	0,049	–	–	–
	9а	Куб	0,089	–	–	–
	9в	Внутрішня частина	0,029	–	–	–
	12а	Пентагондодекаedr, куб	–	–	–	0,184

	12в	Внутрішня частина	0,026	–	–	0,045
--	-----	-------------------	-------	---	---	-------

П р и м і т к а. Знак “+” означає наявність елемента-домішки за результатами якісного лазерного мікроспектрального аналізу, знак “–” означає відсутність елемента-домішки.

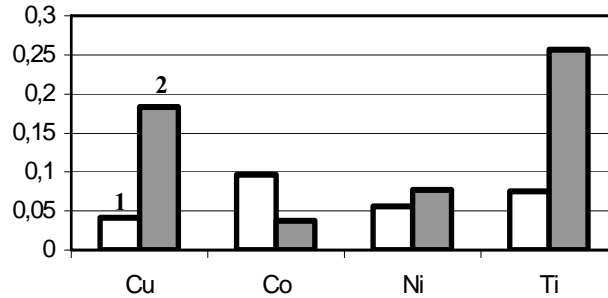


Рис. 5. Середні значення вмісту елементів-домішок у піриті-I:
1 – внутрішні ділянки, 2 – грані.

Послідовність кристалізації простих форм піриту в межах його різновікових генерацій. Типові морфогенетичні ряди піриту. Як відомо, різновікові генерації піриту формувалися із мінералотворних флюїдів різного складу. Тому їхні габітусні форми в процесі росту кристалів послідовно утворюють своєрідні морфологічні ряди кристалів цього мінералу.

Наприклад, на рудопрояві Білий Потік (рис. 6 та 7,а) і родовищі Сауляк (див. рис. 7,б) у морфогенетичних рядах піриту-I кристали ранніх зароджень, зазвичай, мають форму кубооктаедра (див. рис. 6–8), а пізніх – куба, водночас в аналогічних рядах піриту-II кристали ранніх зароджень мають габітус, що визначений комбінаціями куба й пентагондодекаедра, а пізніх – пентагондодекаедра (переважна форма піриту-II).

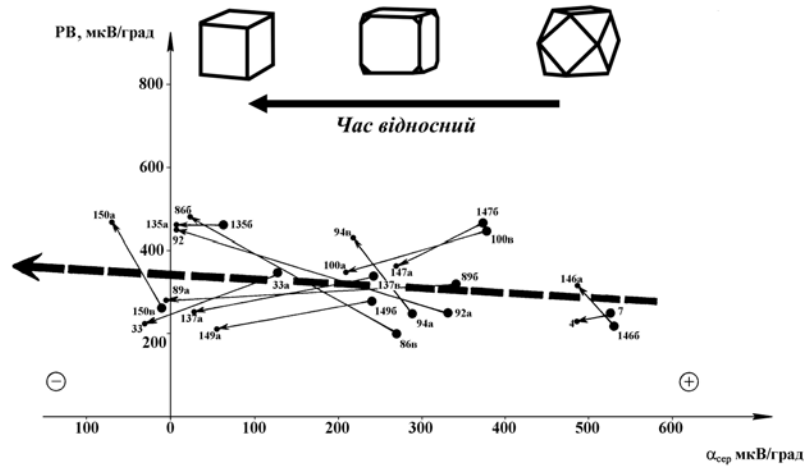


Рис. 6. Зміна розмаху вибірок (PB) та середніх значень термо-е.р.с. ($\alpha_{\text{ср}}$) піриту-I від внутрішніх (початок стрілки) до зовнішніх (кінець стрілки) ділянок кристалів. Числові

термо-е.р.с.-вектори (суцільні стрілки) відображають напрям зміни термоелектричних властивостей окремих кристалів піриту, набутих упродовж їхнього росту. Жирною штриховою стрілкою показано загальну тенденцію зміни термоелектричних властивостей піриту-I рудопрояву Білий Потік.

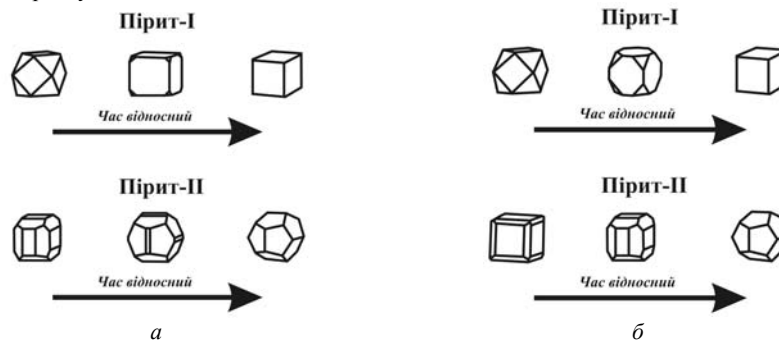


Рис. 7. Кристаломорфогенетичні ряди габітусних форм піриту рудопрояву Білий Потік (а) і родовища Сауляк (б).

Між крайніми габітусними формами цих рядів є кристали, морфологія яких визначена комбінацією, передусім, панівних простих форм, утворених під час поступового доростання піриту-I та -II в умовах діяльності окремих порцій флюїдів.

Зазначимо, що виділений нами на родовищі Сауляк пірит-III, головною габітусною формою якого є куб (рис. 8), трапляється надзвичайно зрідка. Він сформувався із низькотемпературних (тепловодних) флюїдів і завжди тісно асоціює з пізнім карбонатом-III (кальцит).

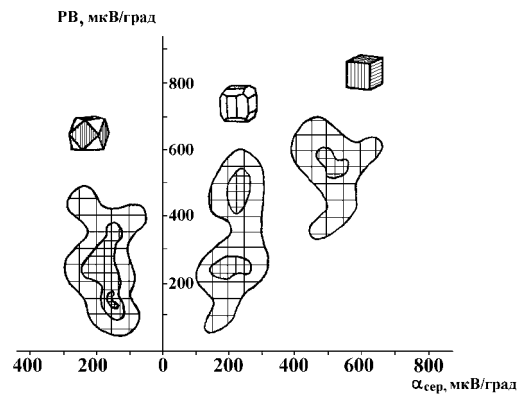


Рис. 8. Термоелектричні властивості провідних форм різновікових генерацій піриту родовища Сауляк. Зображено поля, в межах яких зосереджені фігуративні точки середніх значень термо-е.р.с. та розмаху вибірок піриту-I, -II та -III.

Практично на всіх досліджених золоторудних об'єктах РРР габітус кристалів піриту-I визначений низкою комбінацій таких простих форм, як октаедр і куб (го-

ловна габітусна форма піриту цієї генерації), а піриту-II – куб і пентагондодекаедр (головна габітусна форма піриту-II).

Важливо, що виявлені типоморфні особливості різновікових генерацій піриту дають змогу чітко відрізнити пірит-I (сформований із допродуктивної порції флюїду) від піриту-II, що кристалізувався водночас із золотом (із продуктивної порції флюїду).

Отже, вперше виявлено різновікові кристаломорфогенетичні ряди піриту, габітусні форми якого в процесі росту закономірно змінювалися від ранніх зароджень до пізніх. Водночас послідовно сформовані прості форми піриту в складі продуктивних на золото комплексів суттєво відрізняються від непродуктивних (за морфологією, морфометрією, вмістом елементів-домішок, термоелектричними властивостями, послідовністю кристалізації простих форм у межах кожного ряду), що є типоморфною ознакою для золоторудних об'єктів Рахівського рудного району.

1. Ціхонь С.И. Термоэлектрические свойства разновозрастных кристаллов пирита рудопроявления Белопотокское (Раховский рудный район, Закарпатье) // Тр. IX Междунар. конф. по термобарогеохимии. Александров, 1999. С. 152–164.
2. Ціхонь С.І., Городечний А.І. Типоморфізм піриту золоторудних проявів Рахівського рудного району (Закарпаття) // Наука про Землю – 2001: Матеріали молодіжної наук. конф. Львів, 2001. С. 87–88.
3. Ціхонь С.І., Попівняк І.В., Марусяк В.П., Олійник Т.П. Типоморфні особливості піриту Рахівщини та Чивчин // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. геол. 2001. Вип.15. С. 93–103.
4. Шафрановский И.И. Лекции по кристалломорфологии. М., 1968.

**CRYSTALLOMORPHOGENETIC SERIES
OF PYRITE DIFFERENT AGE GENERATIONS
OF THE RAKHIV ORE REGION GOLD-BEARING OBJECTS
(TRANSCARPATHIANS)**

S. Tsikhon, I. Popivniak, A. Gorodechnyi

*Ivan Franko National University of Lviv
Hrushevs'kogo St. 4, UA – 79005 Lviv, Ukraine
E-mail: tsikhon_s@ukr.net*

Different-age crystallomorphogenetic pyrite series with habit forms regularly changing during growth from the early germs to the late ones have been revealed for the first time in the gold-bearing objects of the Rakhiv ore region. At the same time pyrite simple forms in the gold-productive complexes essentially distinguish from non-productive ones by its morphology, morphometry, trace-elements content, thermoelectric properties, crystallization sequence of the simple forms in the every series limit that can be considered as typomorphic sign.

Key words: pyrite, habit, trace elements, thermoelectric properties, gold, Rakhiv ore region.

Стаття надійшла до редколегії 05.04.2004
Прийнята до друку 12.05.2004