

УДК 549:553.411(477.5)

**ПРОСТОРОВА МІНЛИВІСТЬ МІНЕРАЛОГО-ФІЗИЧНИХ
ХАРАКТЕРИСТИК АРСЕНОПРИТУ В ЗОНАХ
ПІДВИЩЕНОЇ ЗОЛОТОНОСНОСТІ ЗАХІДНОГО ФЛАНГУ
БОБРИКІВСЬКОГО ЗОЛОТО-ПОЛІМЕТАЛЕВОГО РУДНОГО ПОЛЯ
(НАГОЛЬНИЙ КРЯЖ, ДОНБАС)**

О. Литвинович, В. Єхванов, Ю. Пахнющий, Т. Кутний, О. Шваєвський

*Львівський національний університет імені Івана Франка
79005 м. Львів, вул. Грушевського, 4
E-mail: mineral@franko.lviv.ua*

На підставі вивчення кристаломорфологічних та мінералого-фізичних особливостей арсенопіриту зроблено висновок, що в межах Бобріківського рудного поля (Нагольний кряж) експрес-картування потенційно рудоносних зон та локальне прогнозування золотого зруденіння можна виконувати за певними мінералого-фізичними параметрами арсенопіриту.

Ключові слова: арсенопірит, термоелектрорушійна сила, коефіцієнт термо-е.р.с., золото, поліметалеві руди, Донбас.

Арсенопірит є досить поширеним мінералом у межах Нагольного кряжа. Він наявний у поліметалевих рудах практично всіх рудопроявів, які локалізовані в антикліналях другого порядку південної та північної гілок розгалуження Головної антикліналі Донбасу, однак більше поширений у Головній, або, як її ще називають, Південній, рудній зоні й особливо в межах Бобріківського рудного поля. Зазвичай, ці поліметалеві руди містять підвищені, подекуди до промислово-цінних, концентрації золота. З цієї причини у дослідників виник цілком виправданий інтерес до розробки науково обґрунтованої, експресної та порівняно дешевої методики локального прогнозування золотого зруденіння у складчастих вуглецевмісних теригенних літокомплексах Донбасу.

Одним з найліпше вивчених золоторудних об'єктів Головної рудної зони є Бобріківське золото-поліметалеве родовище, яке ми прийняли за еталонний об'єкт, розміщений у найбільш еродованій частині Нагольного кряжа. За даними, що наведені у [4, 5] і які добре узгоджуються з класичною працею Є.К. Лазаренка зі співавт. [3], а також з матеріалами інших дослідників ендегенного зруденіння Нагольного кряжу, переконливо доведено, що:

поряд з добре проявленою регіональною (латеральною) мінералогічною зональністю рудопроявів і родовищ Головної антикліналі Донбасу вертикальна мінеральна зональність, особливо в межах пооб'єктних розрізів, є спорадичною або нечітко вираженою (замаскованою);

зони поширення арсенопіритової мінералізації збігаються з зонами циркуляції метаморфогенно-гідротермальних¹ флюїдів по найдовготриваліших кліважно-диз'

юнктивних порушеннях, тобто по тих зонах, де результати гідротермально-го↔метасоматичного мінералоутворювального процесу виявлені найповніше (рис. 1);

арсенопірит є одним із головних мінералів-концентраторів тонкодисперсної золотої мінералізації;

самородне золото тяжіє до зон максимального розвитку арсенопіритувальної мінералізації (див. рис. 1);

деякі кристаломорфологічні ознаки та, особливо, електрофізичні властивості арсенопіриту можуть слугувати критеріями наявності підвищених концентрацій золота в тих чи інших ділянках Бобриківського рудного поля.

Це спонукало нас продовжити вивчення арсенопіриту, щоб розробити мінерало-го-фізичні критерії прогнозування золотого зруденіння, а також виявити приховану (замасковану) мінералогічну зональність досліджуваного об'єкта.

На жаль, просторову еволюцію кристаломорфологічних різновидів арсенопіриту ми виявили фрагментарно. Це можна пояснити вивченням об'єкта тільки за даними буріння, що приводить до спорадичного опису арсенопіритувальної парагенезисів. Дещо ліпше, хоча також фрагментарно, ми спостерігали часову еволюцію кристаломорфологічних різновидів. На підставі зіставлення її з геолого-мінералогічною характеристикою місця пробовідбору, його сульфідонасиченості та золотоносності ми дійшли висновку про ідентичність наших спостережень з деякими висновками, які наведені в [7]. Графічно це показано на рис. 2. Як бачимо з рис. 2, кожен морфогенетичний різновид формувалася за цілком фіксованого значення As/S , що опосередковано (через термо-е.р.с.) характеризує ступінь флюїдопроникності (флюїдоактивності) рудогенерувальної системи.

Згідно з нашими спостереженнями, повний процес формування арсенопіриту в ході еволюційного розвитку флюїдоактивної системи виглядає так. Найбільш ранній метасоматичний ("породний"²) арсенопірит доростав гідротермально-метасоматичним ("зальбандовим"), який, відповідно, був "затравкою" для формування гідротермального ("жильного") арсенопіриту. Кристалографічно це виявляється у закономірному зменшенні відсоткової частки грані {101} (тичкуватий обрис) щодо грані {120} (скіпетроподібний обрис).

Звичайно, в кожній ділянці мінералоутворення залежно від локальних геологічних та $P/T/X$ -параметрів утворення кристалів арсенопіриту могло як початись, так і завершитись на будь-якій фазі метасоматичного↔гідротермального процесу. Демонстраційно це можна відобразити кореляційним графіком мінерало-парагенетичних параметрів пірит-арсенопіритувальної парагенезисів (рис. 3), де видно еволюцію кристаломорфологічних різновидів арсенопіриту від термо-е.р.с., що, відповідно, є опосередкованим відображенням співвідношення As/S .

¹ Під терміном "метаморфогенно-гідротермальний процес" ми розуміємо, що немає метаморфізму без тих чи інших проявів метасоматозу [1, 2], а також те, що немає метасоматозу без того чи іншого прояву гідротермального процесу [2].

² Тут і далі терміни "породний", "зальбандовий", "жильний" ми використовуємо дещо умовно, не стільки за наявністю арсенопіриту в певних породах, скільки за повнотою мінералоутворювального процесу.

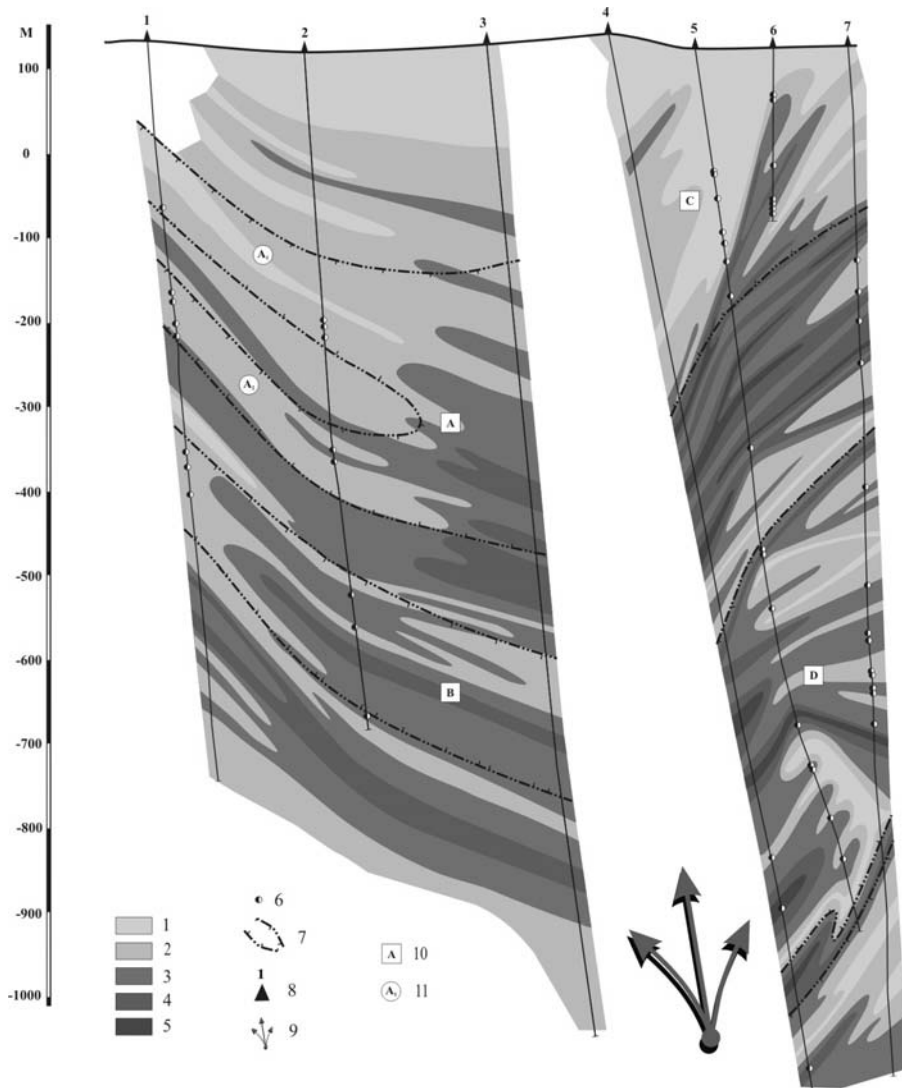


Рис. 1. Поширення арсенопіритової мінералізації в межах субширотного профілю глибинного буріння Бобріківського золото-поліметалевого родовища.

Значення D_n піриту, %: 1 – 0; 2 – 0–20; 3 – 20–40; 4 – 40–60; 5 – >60; 6 – знахідки самородного золота; 7 – зони поширення арсенопіритової мінералізації; 8 – свердловини та їхні умовні номери; 9 – вертикальна проекція напрямів руху високотемпературних флюїдів; 10 – індекси зон; 11 – індекси підзон.

З цього ж графіка бачимо, що в параметричному полі, оптимальному для виділення золоторудних парагенезисів, є кристали арсенопіриту скіпетроподібного обрису, а також те, що $\alpha_{\text{сер}}$ арсенопіриту тут має значення > –90 мкВ/град.

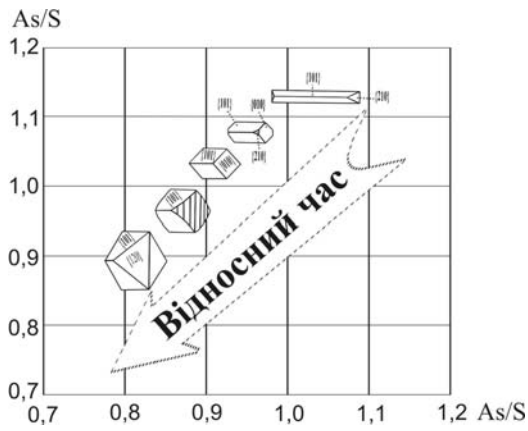


Рис. 2. Схема еволюційної мінливості кристаломорфологічних різновидів арсенопіриту залежно від співвідношення As та S, за [7] з нашими доповненнями.

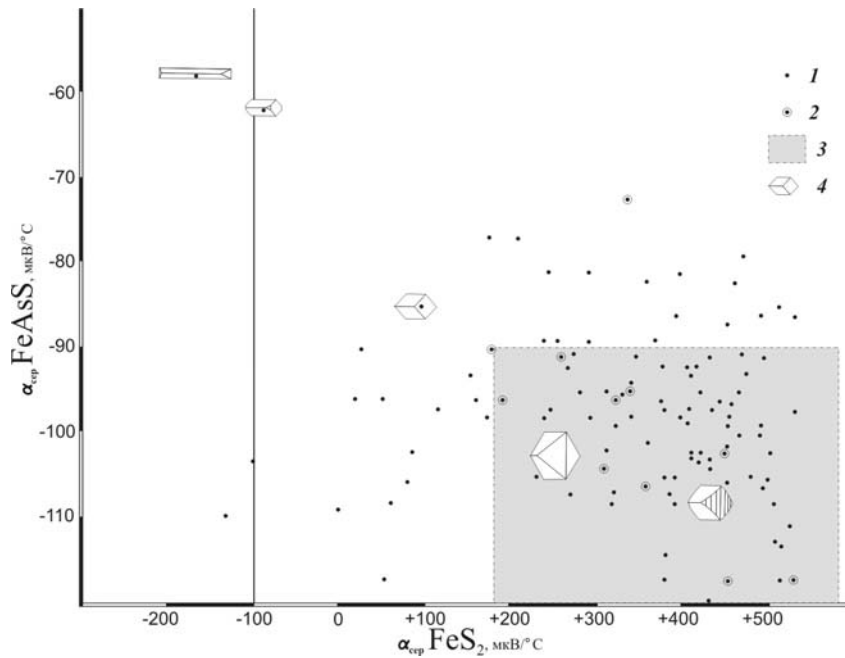


Рис. 3. Кореляційний графік мінералого-фізичних параметрів парагенезису пірит-арсенопірит:

1 – параметрична характеристика взірця; 2 – параметрична характеристика взірця з видимим золотом; 3 – параметричне поле, оптимальне для локалізації золоторудних парагенезисів; 4 – габітус кристалів арсенопіриту.

Як бачимо з рис. 1, де показано мінливість параметра D_n піриту в межах субширотного профілю глибинного буріння Бобриківського золото-поліметалевого родовища з накладеним на неї ареалом розвитку макроскопічно фіксованої арсенопіритової мінералізації, цей профіль можна розділити на дві частини: східну і західну.

Межа поділу умовно проходить між устями свердловин 3³ та 4. Між цими свердловинами чітко зафіксовано найпізніший рудо-флюїдопідвідний канал. У західній частині висхідні флюїди проникали в породи рами зі сходу на захід, а в східній – з заходу на схід. Умови рудолокалізації в західній та східній частинах теж дещо відрізняються. В західній частині переважна більшість жильних утворень орієнтована навхрест (або під великим кутом) до основного падіння вмісних порід, а в східній вони локалізовані як у субзгідних системах тріщинуватості, так і в незгідних (що власне і привело до виділення штокверкового типу зруденіння).

Типоморфні електричні особливості арсенопіриту ми розглянемо здебільшого для західної частини Бобриківського рудного поля, яка розвідана профілем глибинного буріння. Це можна пояснити тим, що тут потенційно рудоносні зони прожилково-вкрапленої та прожилково-жильної мінералізації утворюють плащеподібні (пластоподібні) поклади, для яких частково можна використати алгоритм розрахунку термобарогеохімічної та мінералого-фізичної зональності. Виокремлення ділянок локалізації золотого зруденіння у східній частині за електричними властивостями тільки одного мінералу (арсенопіриту) дещо утруднене, що пов'язано з розвитком власне штокверкового типу зруденіння з концентраційними рудними стовпами за [6]. Тому детальнішу характеристику цієї частини родовища наведемо в інших публікаціях. З огляду на це мінералого-фізичні особливості арсенопіриту вивчатимемо по падінню зон окремо для кожної частини. До речі, це перша в історії вивчення Бобриківського золото-поліметалевого родовища спроба системного зіставлення тих чи інших мінералогічних характеристик за конкретними геологічними потенційно рудоносними зонами згідно з методиками розрахунку параметрів локалізації зруденіння.

З рис. 1 видно, що в межах профілю глибинного буріння можна виділити чотири зони поширення арсенопіритової мінералізації. Дві з них є на західному фланзі (зони *A* та *B*), а дві – на східному (зони *C* та *D*). Зона *A*, підсічена св. 3, розгалужується на дві підзони (*A*₁ та *A*₂), які розкриті свердловинами 1 та 2.

Для виявлення типоморфних електричних особливостей арсенопіриту ми вивчили 253 взірці (13 156 замірів), з них у західній частині – 114 (5 928 замірів), а у східній – 139 (7 228 замірів). Під час порівняння сумарних гістограм частот трапляння значень $\alpha_{\text{сер}}$ арсенопіриту західної та східної частини (рис. 4) чітко зафіксовано їхню відмінність, що полягає у полімодальності гістограми, яка відображає розподіл згаданих вище значень для західної частини досліджуваного об'єкта, та номодальності їхнього розподілу в східній частині. На графіку для західної частини можна виділити три піки, наявність яких опосередковано підтверджує правильність нашого припущення щодо умовного виділення “породного”, “зальбандового” та “жильного” арсенопіриту (див. вище). Водночас для східної частини такого не зареєстровано, тому не маємо змоги зробити відповідні розмежування. В нашому випадку це може свідчити лише про більше виявлену неоднорідність метасоматичного ↔ гідротермального процесу мінералоутворення в західній частині. Це підтверджено зіставленням гістограм частот трапляння $\alpha_{\text{сер}}$ арсенопіриту по свердловинах 1, 2 та 3, які розкривають потенційно рудоносні зони з заходу на схід (рис. 5).

³ Тут і далі нумерація свердловин умовна.

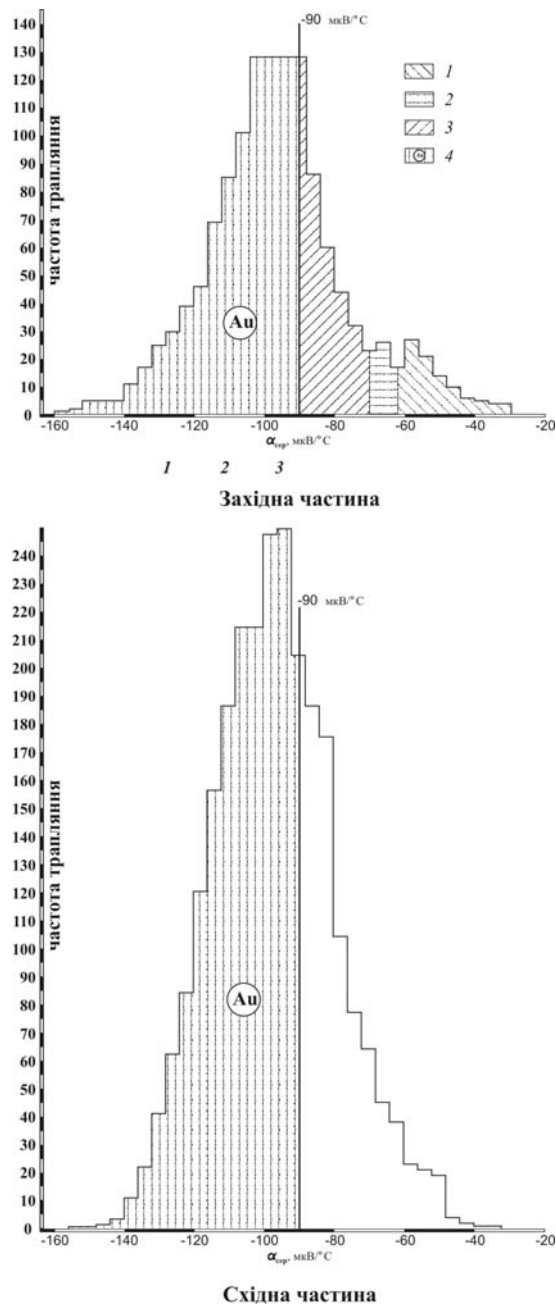


Рис. 4. Гістограми частот трапляння значень $\alpha_{ар}$ арсенопіриту західної (А) та східної (В) частини.

Ділянки розвитку арсенопіриту: 1 – “породного”; 2 – “зальбандового”; 3 – “жильного”; 4 – золотовмісного.

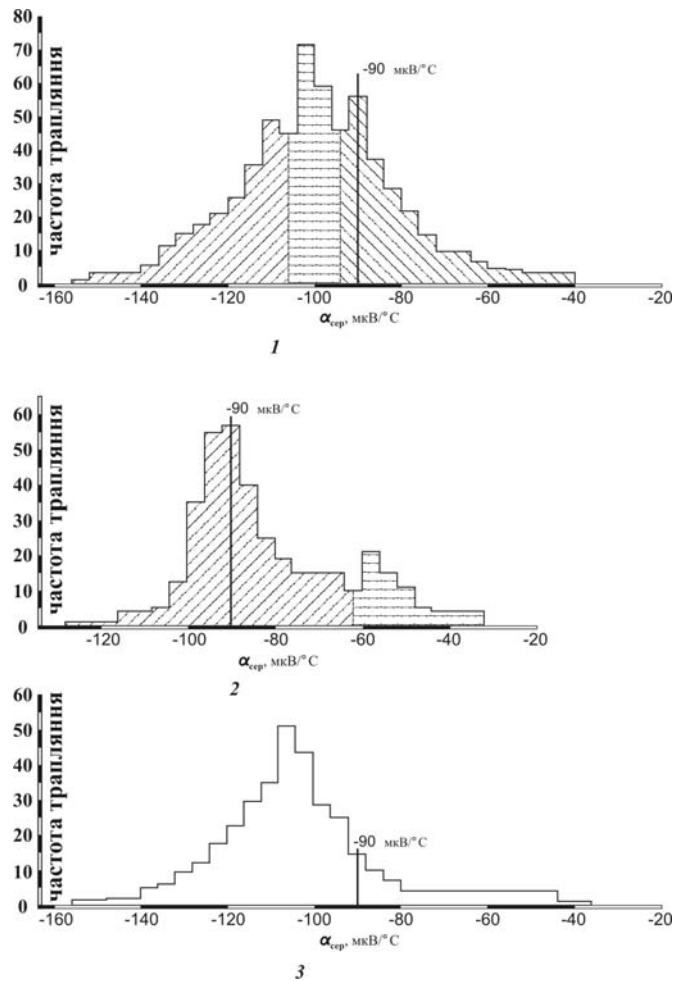


Рис. 5. Гістограми сумарних частот трапляння $\alpha_{\text{сер}}$ арсенопіриту по свердловинах 1, 2 і 3 (із заходу на схід). Позначення ті ж, що й на рис. 4.

Як бачимо з рис. 5, зміна характеру гістограм є поступовою, що виявляється у зміні тримодального розподілу значень $\alpha_{\text{сер}}$ арсенопіриту у найвіддаленіших від зони припливу рудоформувальних флюїдів (св. 1) до мономодального (св. 3) у глибших і тому більше термостатованих ділянках, через бімодальність розподілу в св. 2, яка розташована між ними. Це свідчить на користь нашого припущення про наявність трьох різновидів морфогенетичних типів арсенопіриту, а також про просторово-еволюційний розвиток арсенопіритової мінералізації. Варіації значень $\alpha_{\text{сер}}$ арсенопіриту жильної та породної складової потенційно рудоносних зон наведені в таблиці.

Варіації значень $\alpha_{\text{сер}}$ арсенопіриту жильної та породної складової потенційно рудоносних зон

Умовний номер свердловин	Арсенопірит						Усереднений мінералого-фізичний градієнт по зонах, мкВ/град на 100 м		
	$\alpha_{\text{сер}}$, мкВ/град			$\alpha \pm \sigma$					
	“жильний”	“зальбандовий”	“породний”	“жильний”	“зальбандовий”	“породний”	“жильний”	“зальбандовий”	“породний”
Потенційно рудоносна зона А									
1	-123	-100	-83	(-101)-(-139)	(-80)-(-120)	(-62)-(-108)	11	12	2
2	-132	-119	-91	(-120)-(-150)	(-101)-(-138)	(-67)-(-116)			
3	-143	-122	-92	(-120)-(-170)	(-106)-(-140)	(-39)-(-109)			
Потенційно рудоносна зона В									
1	-132	-100	-97	(-123)-(-147)	(-82)-(-117)	(-80)-(-112)	6-7	12-1 3	2
2	-138	-115	-97	(-132)-(-148)	(-101)-(-129)	(-81)-(-111)			
3	-150	-135	-102	(-137)-(-159)	(-127)-(-141)	(-81)-(-115)			

З таблиці бачимо, що в межах кожної зони “породний”, “зальбандовий” та “жильний” різновиди арсенопіриту відрізняються значеннями $\alpha_{\text{сер}}$ з певним їх переkritтям у разі зіставлення розмаху вибірок. Графічно це показано на рис. 6, де

винесено фігуративні поля діапазону коливання значень $\alpha \pm \sigma$ “породного”, “зальбандового” та “жильного” арсенопіриту в координатах: As/S–відносна температура.

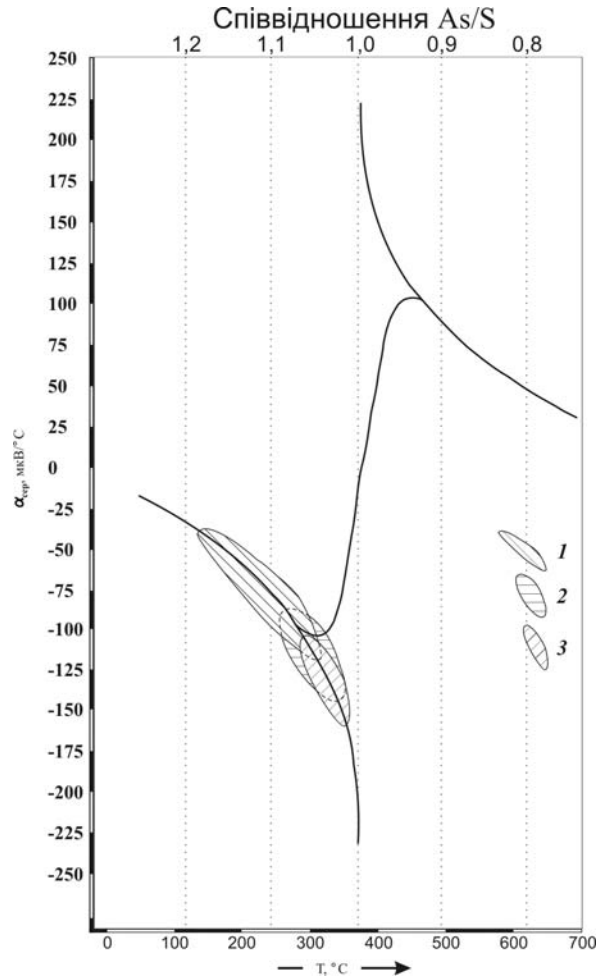


Рис. 6. Фігуративні поля формування “породного” (1), “зальбандового” (2) та “жильного” (3) арсенопіриту в координатах коефіцієнт термо-е.р.с. ($\alpha_{\text{сер}}$, мкВ/град)–відносна температура мінералоутворення (T , °C)–As/S західної частини Бобріківського рудного поля.

Еволюція мінливості $\alpha_{\text{сер}}$ по потенційно рудоносних зонах, підсічених свердловинами 1, 2 та 3, зображена на рис. 7, з якого можна побачити як збільшення абсолютних $\alpha_{\text{сер}}$ арсенопіриту від “породного” до “жильного” з наближенням до зони підпливу флюїдів, збагачених “ювенільною” сіркою, так і більші значення $\alpha_{\text{сер}}$ на глибших горизонтах. Оскільки ми простежуємо чітку закономірність збільшення абсолютних значень $\alpha_{\text{сер}}$ арсенопіриту по падінню зон, а також і з глибиною, то по цьому мінералу розраховано мінералого-фізичний градієнт (див. таблицю). За доста-

тньо чіткої стабільності його значень для “зальбандового” та “породного” різновидів зменшені значення “жильного” арсенопіриту в зоні *B* можуть свідчити про більш термостатований режим у ній, що приводить до ширшого розвитку процесів метасоматичного мінералоутворення порівняно з вищими гіпсометричними рівнями (наприклад, зона *A*).

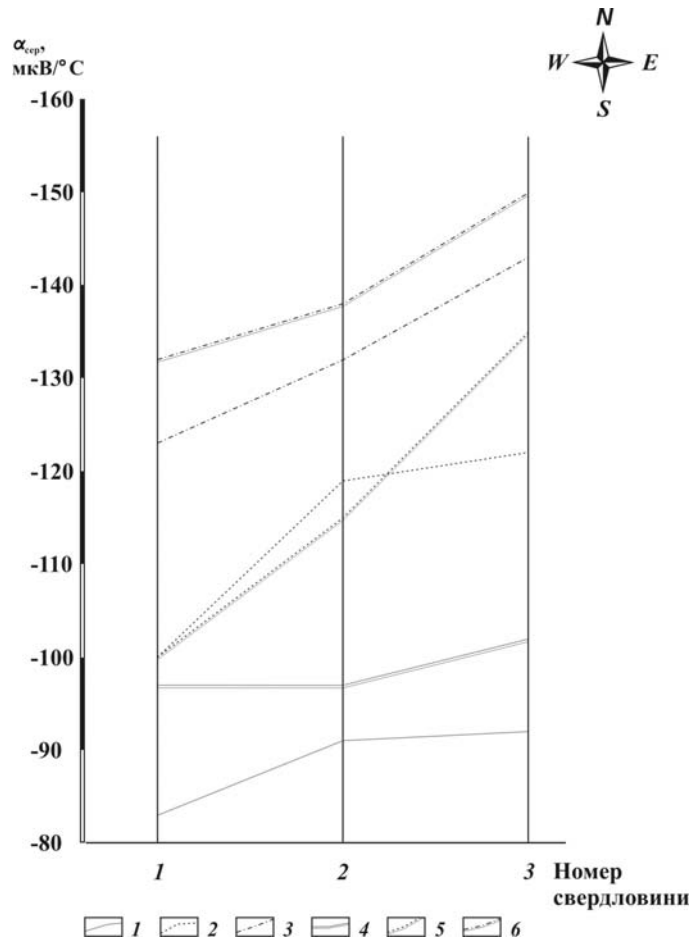


Рис. 7. Мінливість $\alpha_{\text{сер}}$ арсенопіриту по потенційно рудоносних зонах, підсічених свердловинами 1, 2 та 3.

Виявлені варіації $\alpha_{\text{сер}}$ арсенопіриту західної (1–3) та східної (4–6) частин: 1, 4 – “породного”; 2, 5 – “зальбандового”; 3, 6 – “жильного”.

Отже, арсенопірит є одним з найбільш ранніх мінералів, сформованих за умов метасоматичного ↔ гідротермального процесу рудоутворення в межах Бобріківського рудного поля. Це один з головних мінералів-концентраторів дисперсного (“розчиненого”) золота. Арсенопірит локалізований у зонах циркуляції метаморфогенних ↔ гідротермальних флюїдів по найбільш довготривалих кліважно-диз’юнк-

тивних порушеннях, тобто по тих зонах, де гідротермальні↔метасоматичні мінералоутворювальні процеси відбулися в повному обсязі.

Вертикальна зональність Бобріківського рудного поля найчіткіше зафіксована не на мінеральному рівні, а за типоморфними електричними ознаками мінералів-напівпровідників. Деякі кристаломорфологічні ознаки, та, особливо, деякі електрофізичні властивості арсенопіриту можуть слугувати критеріями наявності підвищених концентрацій золота в тих чи інших ділянках Бобріківського рудного поля.

Оскільки арсенопірит, який має $\alpha_{\text{сеп}} > -90$ мкВ/град, характеризує ділянки з підвищеною золотоносністю, а цей параметр стабільно збільшується з глибиною, то можна зробити припущення про зростання ступеня золотоносності на глибших горизонтах. Процеси мінералоутворення глибших горизонтів Бобріківського рудного поля відбувалися за більш ставованих *РТХ*-параметрів.

Все це може свідчити про єдиний просторово-еволюційний метаморфогенний↔гідротермальний характер процесу мінералоутворення в межах Бобріківського рудного поля.

1. *Бейли Б.* Введение в петрологию. М., 1972.
2. *Коржинский Д.С.* Поведение воды при магматических и постмагматических процессах // Геология рудных месторождений. 1962. № 5. С. 3–13.
3. *Лазаренко Е.К., Панов Ю.Б., Груба В.И.* Минералогия Донецкого бассейна. К., 1975. Ч. 1.
4. *Литвинович О., Схиванов В., Пахнюций Ю.* та ін. Досвід виявлення певного типу золотого зруденіння методом термо-ЕРС на мінералого-парагенетичній основі (на прикладі Бобріківського рудного поля, Нагольний кряж, Донбас) // Мінерал. зб. 2004. № 54. Вип. 2. С. 151–155.
5. *Литвинович О., Схиванов В., Пахнюций Ю.* та ін. Кореляція мінливості мінералого-фізичних характеристик арсенопіриту зі ступенем золотоносності поліметалевих руд (на прикладі Бобріківського рудного поля, Нагольний кряж, Донбас) // Мінерал. зб. 2005. № 55. Вип. 1–2. С. 40 – 47.
6. *Смирнов В.И.* Геология полезных ископаемых. М., 1969.
7. *Kerestedjian T.* Chemical and morphological features of arsenopyrite, concerning its use as a geothermometer // Mineralogy and Petrology. 1997. Vol. 60. P. 231–243.

**SPATIAL VARIABILITY OF THE MINERALOGICAL AND PHYSICAL
FEATURES OF ARSENOPYRITE IN THE GOLD-BEARING ZONES
OF THE BOBRYKOVE GOLD-POLYMETALLIC ORE FIELD WESTERN FLANK**

(NAGOL'NYI MOUNTAIN-RIDGE, DONBAS)**O. Lytvynovych, V. Yekhivanov, Yu. Pakhnyushchyi, T. Kutnyi, O. Shvayevs'kyi**

*Ivan Franko National University of Lviv
Hrushevskogo St. 4, UA – 79005 Lviv, Ukraine
E-mail: mineral@franko.lviv.ua*

Based on the morphogenetic and mineralogical-physical features of arsenopyrite it has been concluded that within the Bobrykove ore field the express mapping of the potentially ore-bearing zones can be carried out by only certain mineralogical-physical parameters of arsenopyrite.

Key words: arsenopyrite, thermoelectric force, coefficient of thermoelectric force, gold, polymetallic ores, Donbas.

Стаття надійшла до редколегії 10.05.2006

Прийнята до друку 01.11.2006