

УДК 549(477)

**ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ АРСЕНОПІРИТУ
РУДОПРОЯВУ БАНСЬКИЙ (ЗАКАРПАТТЯ)**

К. Довга¹, Я. Левицький¹, Ю. Удуд²

¹*Львівський національний університет імені Івана Франка
79005 м. Львів, вул. Грушевського, 4
E-mail: mineral@franko.lviv.ua*

²*Закарпатська ГРЕ ДГП Західукргеологія*

Досліджено термоелектричні властивості арсенопіриту рудопрояву Банський (Рахівський рудний район). Доведено існування двох зароджень однієї генерації арсенопіриту, які суттєво відрізняються за морфометричними характеристиками та даними термо-е.р.с.

Ключові слова: арсенопірит, термоелектрорушійна сила, золоте зруденіння, серицит-кварцові породи, Рахівський рудний район.

Рудопрояв Банський розташований за 5 км на захід від родовища Сауляк і належить до Сауляцького рудного поля Рахівського рудного району (Закарпаття). У західній частині Мармароського масиву в будові рудопрояву беруть участь інтенсивно дислоковані метаморфічні осадово-вулканогенні й ефузивні утворення берлибаської світи, яка має венд-кембрійський вік, а також осадові груботеригенні відклади еоцену великобанської світи, що містять золоте зруденіння [3]. Це зруденіння контролюють розломи, які мають північно-східне простягання і приурочені до діагональних опіряючих тріщин відриву. Золотовмісні зони виповнені подрібненими брекчієподібними серицит-кварцовими породами, в яких локалізовані золото-сульфідно-кварцові жили виповнювання і прожилки. Промислове золоте зруденіння виявлене тільки в межах таких зон. Головні рудні мінерали, крім золота, – пірит, арсенопірит, зрідка галеніт і гідроксиди заліза. Золото утворює дрібні (до 0,1 мм) і середні виділення в кварці й лімоніті, іноді – гіллясті прожилки до 3–5 см завдовжки, а також трапляється в ідіоморфних зернах арсенопіриту, де локалізоване в зонах дроблення. Вміст сульфідів у рудах не перевищує 3 % [2, 3]. За мінеральним складом рудопрояв Банський належить до золото-сульфідно-кварцового малосульфідного мінерального типу [4].

Арсенопірит є одним з найпоширеніших мінералів на рудопрояві. Він наявний у кварц-хлоритових прожилках і жилах, особливо часто – на контакті між виділеннями кварцу та хлориту, тому типовими є ситуації, коли одна частина кристала розміщена у кварці, а інша – у сланцях [6]. Усі кристали досліджуваного арсенопіриту мають дві прості кристалографічні форми: ромбічні призми {101} та {120}. За їхнім співвідношенням на рудопрояві ми виділили три головні типи кристалів; до окремого, четвертого типу зачислено кристали-зростки.

Тип 1. Ромбічна призма $\{101\}$ значно переважає ромбічну призму $\{120\}$. На гранях $\{101\}$ трапляється штрихування, паралельне до ребер $\{101\}$. На гранях $\{120\}$ штрихування нема (рис. 1, *a*).

Тип 2. Ромбічна призма $\{101\}$ за розміром приблизно така ж, як $\{120\}$. Грані обох призм без штрихування (див. рис. 1, *b*).

Тип 3. Ромбічна призма $\{120\}$ переважає за розміром ромбічну призму $\{101\}$. На гранях $\{120\}$ трапляється штрихування (див. рис. 1, *в*).

Тип 4. Зростки двох і більше кристалів арсенопіриту. В одному агрегаті трапляються комбінації будь-яких із наведених вище типів кристалів (див. рис. 1, *г*).

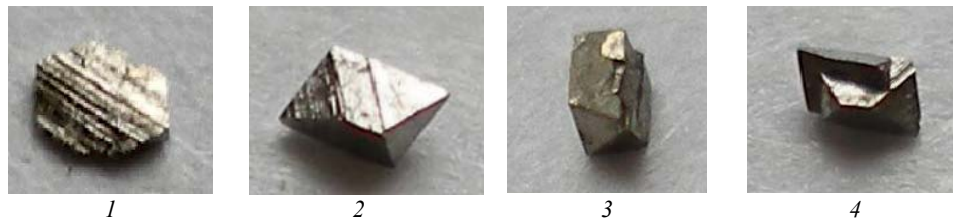


Рис. 1. Головні типи кристалів (1–3) і зростків (4) арсенопіриту, $\times 50$.

Термо-е.р.с. арсенопіриту вимірювали на установці, змонтованій у лабораторії прикладної термобарогеохімії (ЛПТ) геологічного факультету Львівського національного університету імені Івана Франка. Головним вимірювальним приладом був мікровольтметр типу В7-21. Використовували електроди-голки, що давали змогу термічно збуджувати будь-яку ділянку поверхні кристала чи його відколу. Напругу, яку подавали на гарячий електрод, стабілізували за допомогою блока живлення ВИП-10. Точність і стабільність вимірювань контролювали, періодично вимірюючи термо-е.р.с. еталона (константанова пластинка, виготовлена із мідь-константанової термопари), підтримуючи сталі значення різниці температури між робочими поверхнями гарячого й холодного електродів за допомогою потенціометричного контролю. Отже, можливу систематичну похибку під час вимірювань термо-е.р.с. мінімізували.

Коефіцієнт термоелектричного потенціалу (α , мкВ/град) визначали шляхом ділення різниці потенціалів термічно збуджених і незбуджених ділянок досліджуваного мінералу-напівпровідника (ΔU , мкВ) на різницю температури між робочими поверхнями гарячого й холодного електродів (100 °С). Значення α досліджуваного мінералу наносили на відповідні графіки. Інтервали групування значень термо-е.р.с. обирали за відомою емпіричною формулою Стерджесса.

За кожним досліджуваним кристалом чи взірцем мінералу виконували 50 вимірювань. По 50 вимірювань значення термо-е.р.с. виконано також у центральних ділянках кристалів, на їхніх поверхнях чи окремих гранях.

Кожне заміряння значень термо-е.р.с. є підґрунтям для отримання вибіркового даних, які характеризують поширення носіїв заряду в досліджуваному мінералі [1, 5]. Чим точніше й акуратніше виконано кожне заміряння значень термо-е.р.с. мінералу, тим надійніше наближення даних до істинного розміщення носіїв заряду в його межах. Тому до процедури заміряння кожного значення термо-е.р.с. ставилися особливо ретельно.

Вимірювання на установці ЛПТ, залежно від розміру досліджуваного взірця, виконували з використанням холодного електрода-голки чи електрода-пластинки [1, 5]. Електрод-пластинку, зазвичай, використовували для роботи з дрібними зернами мінералу (до 1 мм). Для роботи з більшими взірцями використано холодний електрод-голку.

Замірами рівномірно покривали всю поверхню взірця чи його частини. Для кожного досліджуваного об'єкта робили статистично надійну кількість замірянь (не менше 50) [7]. Отримане значення термо-е.р.с. у мілівольтах переводили в мікрівольти, ділили на різницю температури між гарячим і холодним електродами й таким способом отримували значення коефіцієнта термо-е.р.с.

За результатами дослідження з'ясовано, що показник усіх отриманих значень термо-е.р.с. коливається в межах від $-391,8$ до $-255,6$ мкВ/град. Розмахи вибірок значень термо-е.р.с. окремих індивідів арсенопіриту змінюються від 60 до 310 мкВ/град (табл. 1, 2).

Таблиця 1

Термоелектричні властивості арсенопіриту рудопрояву Банський, мкВ/град

Номер взірця	α_{\max}	α_{\min}	$\alpha_{\text{сер}}$	Розмах вибірки
1	2	3	4	5
1	-240	-330	-292,8	90
2	-280	-370	-335,2	90
3	-230	-350	-312,4	120
4	-240	-320	-286,2	80
5	-250	-320	-291,6	70
6	-290	-380	-346,4	90
7	-270	-340	-299,2	70
8	-260	-350	-293,6	90
9	-260	-340	-290,8	80
10	-230	-320	-284,8	90
11	-170	-320	-238,0	150
12	-150	-300	-229,8	150
13	-180	-270	-225,6	90
14	-200	-310	-246,4	110
15	-160	-320	-234,4	160
16	-180	-290	-243,0	110
17	-180	-270	-239,0	90
18	-230	-290	-256,8	60
19	-240	-340	-298,4	100
20	-150	-340	-271,2	190
21	-120	-340	-279,0	220
22	-220	-300	-267,2	80
23	-120	-320	-269,6	200
24	-240	-400	-359,6	160
25	-240	-310	-274,4	70
26	-220	-340	-287,6	120
27	-230	-300	-275,4	70
28	-250	-340	-294,2	90
29	-250	-340	-290,0	90

Закінчення табл. 1

1	2	3	4	5
30	-280	-350	-313,8	70
31	-160	-340	-301,4	180
32	-240	-350	-303,6	110
33	-200	-290	-255,6	90
34	-200	-300	-246,6	100
35	-170	-280	-230,4	110
36	-190	-300	-262,8	110
37	-230	-350	-292,8	120
38	-230	-310	-278,2	80
39	-230	-360	-291,4	130
40	-120	-310	-254,8	190
41	-220	-340	-296,0	120
42	-210	-300	-261,8	90
43	-240	-320	-283,6	80
44	-200	-420	-306,4	220
45	-170	-480	-268,2	310
46	-210	-450	-325,0	240
47	-250	-400	-344,2	150
48	-220	-370	-279,6	150
49	-270	-390	-351,6	120
50	-300	-410	-369,2	110
51	-250	-430	-349,0	180
52	-250	-380	-309,4	130
53	-280	-410	-345,6	130
54	-290	-410	-350,2	120
55	-290	-430	-350,0	140
56	-270	-430	-336,8	160
57	-330	-450	-391,8	120
58	-250	-350	-305,0	100
59	-250	-410	-314,4	160
60	-300	-390	-355,0	90
61	-320	-440	-389,2	120
62	-270	-380	-327,0	110
63	-300	-410	-368,4	110
64	-250	-440	-346,8	190
65	-250	-440	-346,8	190
66	-300	-400	-358,2	100
67	-350	-440	-391,6	90
68	-300	-390	-354,8	90

Результати досліджень свідчать, що генеральна вибірка значень термо-е.р.с. досліджених кристалів арсенопіриту є двомодальною (рис. 2). Подібну двомодальність розподілу мають також розмахи вибірок значень термо-е.р.с. (рис. 3, 4). Це може бути ознакою існування двох головних груп досліджуваних кристалів арсенопіриту або їхніх зароджень у межах рудопрояву Банський.

Кристалізація арсенопіриту, за даними термо-е.р.с., супроводжувалася зміною термо-е.р.с. у напрямі від низьких до високих значень електронної провідності. Проте, передусім, свідчить прямий зв'язок розмаху вибірки та середнього значення α (рис. 5).

Таблиця 2

Термоелектричні властивості арсенопіриту рудопрояву Банський у внутрішніх ділянках кристалів та на їхніх гранях, мкВ/град

Номер кристала	α_{\max}	α_{\min}	$\alpha_{\text{сер}}$	Розмах вибірки
На гранях кристалів				
1	-230	-350	-312,4	120
2	-290	-380	-346,4	90
3	-180	-290	-243,0	110
4	-240	-340	-298,4	100
5	-120	-340	-279,0	220
6	-190	-300	-262,8	110
7	-220	-340	-296,0	120
8	-290	-430	-350,0	140
9	-320	-440	-389,2	120
У внутрішніх ділянках кристалів				
1	-240	-330	-292,8	90
2	-270	-340	-299,2	70
3	-180	-270	-239,0	90
4	-230	-290	-256,8	60
5	-150	-340	-271,2	190
6	-200	-300	-246,6	100
7	-210	-300	-261,8	90
8	-250	-380	-309,4	130
9	-300	-390	-355,0	90

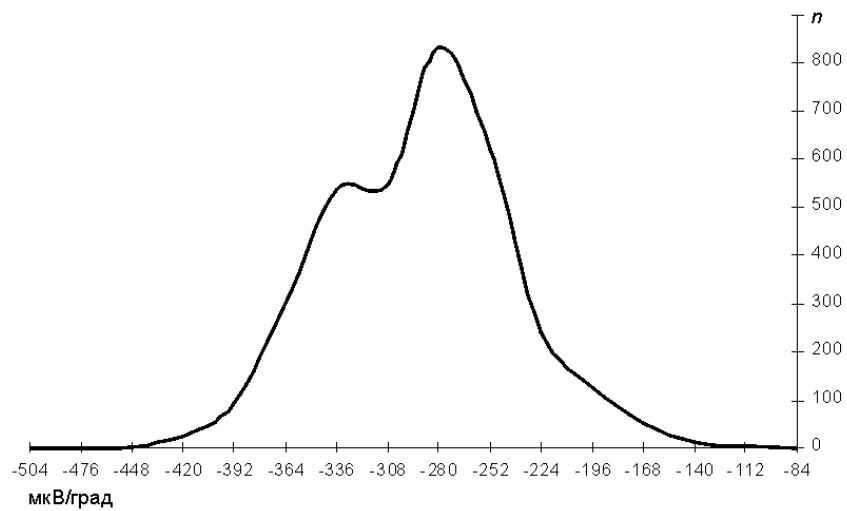


Рис. 2. Генеральна вибірка значень термо-е.р.с. арсенопіриту рудопрояву Банський.

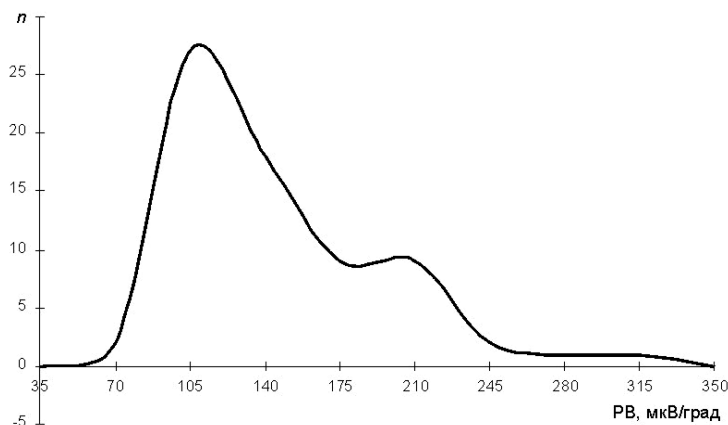


Рис. 3. Варіаційна крива накопичення розмахів вибірок значень термо-е.р.с. арсенопіриту рудопрояву Банський.

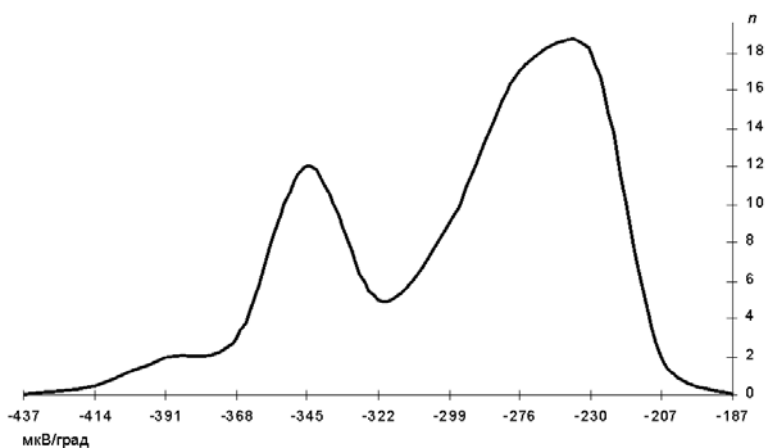


Рис. 4. Вибірка середніх значень термо-е.р.с. арсенопіриту рудопрояву Банський.

Доказом цього є результати детального дослідження окремих кристалів арсенопіриту, у яких внутрішні ділянки, що, очевидно, кристалізувались раніше, мають низькі значення розмаху вибірки та $\alpha_{\text{сер}}$, водночас грані кристалів мають високі значення розмаху вибірки (РВ) та $\alpha_{\text{сер}}$ порівняно з центральними ділянками кристалів (рис. 6). Отже, є підстави припустити, що досліджувані кристали росли за умов посилення нестабільності в системі мінералоутворення.

Загалом результати дослідження термоелектричних властивостей арсенопіриту рудопрояву Банський свідчать, що цей мінерал має винятково електронну термоелектропровідність.

Особливо треба зазначити, що поширення арсенопіриту в межах рудопрояву Банський просторово збігається з високим вмістом золота в рудах. Виявлення арсенопіриту в слабо вивчених рудних тілах може свідчити про високу ймовірність виявлення золота в їхніх межах.

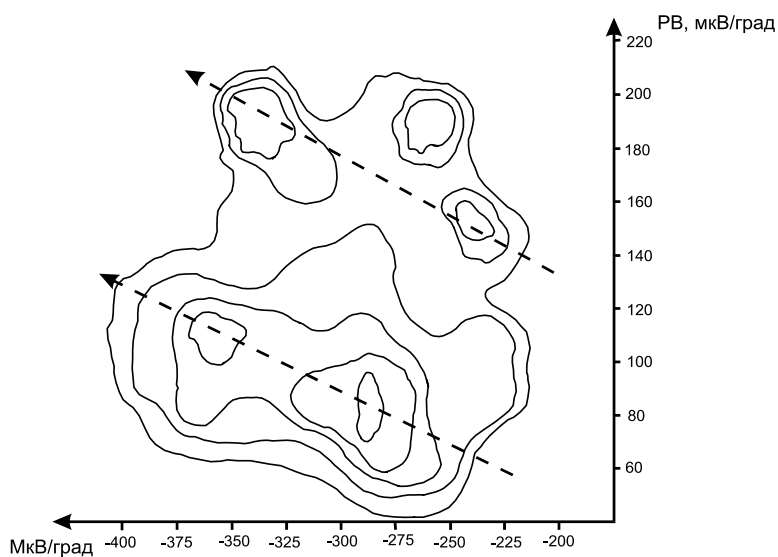


Рис. 5. Числові поля фігуративних точок значень термо-е.р.с. у координатах розмах вибірки (РВ)– $\alpha_{\text{ср}}$ арсенопіриту з рудопрояву Банський. Стрілками показано напрями зміни значень термо-е.р.с. у процесі росту кристалів арсенопіриту.

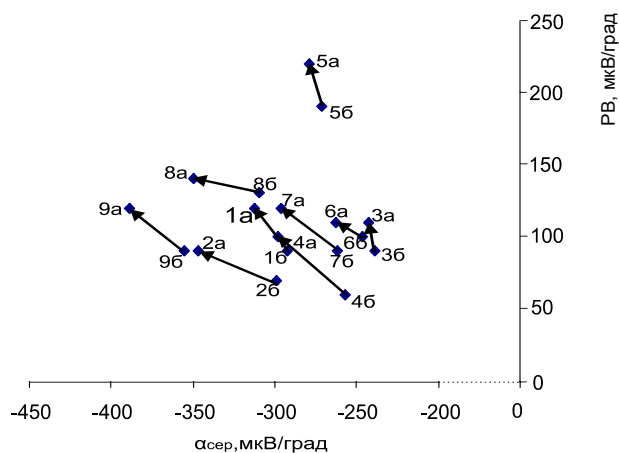


Рис. 6. Залежність розмаху вибірки та середніх значень термо-е.р.с. арсенопіриту рудопрояву Банський. Стрілками показано зміну термоелектричних властивостей від внутрішніх ділянок кристалів до периферійних. Значення термо-е.р.с. за номерами фігуративних точок наведено у табл. 2.

Отже, результати досліджень підтвердили, що властивості арсенопіриту рудопрояву Банський подібні до властивостей арсенопіриту таких відомих родовищ золота, як Дарасун (Східне Забайкалля), Східноурійське (Кіровоградщина) та ін.

1. *Кучерук І.М., Горбачук І.Т., Луцик П.Т.* Електрика і магнетизм. Т. 2. К., 2001.
2. *Матковський О.І.* Родовища та рудопрояви золота Українських Карпат // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. геол. 1992. Вип. 11. С. 96–120.
3. *Нечепуренко О.О., Шклянка В.М.* Золотоносність Рахівського рудного району // Наукові основи прогнозування, пошуків та оцінки родовищ золота: Матеріали міжнар. наук. конф. Львів, 1999. С. 96–97.
4. *Петровская Н.В.* Самородное золото. М., 1973.
5. *Попивняк И.В.* Лабораторное изучение термоэлектрических свойств пикроильменитов и разработка методических основ их использования в практике поисков и оценки кимберлитовых тел. Отчет (окончательный). Львов, 1985.
6. *Ціхонь С.І.* Фізико-хімічні умови розвитку та зональність гідротермального зруденіння Рухівського золоторудного району (за даними термобарогеохімічних та мінералого-фізичних досліджень): Автореф. дис. ... канд. геол. наук. Львів, 2004.
7. *Яворский Б.М., Детлаф А.А.* Справочник по физике. М., 1977.

**THERMOELECTRIC PROPERTIES OF ARSENOPYRITE
FROM BANS'KYI ORE MANIFESTATION
(TRANSCARPATHIANS)**

К. Dovha¹, Ya. Levyts'kyi¹, Yu. Udud²

¹*Ivan Franko National University of Lviv
Hrushevskogo St. 4, UA – 79005 Lviv, Ukraine
E-mail: mineral@franko.lviv.ua*

²*Zakarpats'ka Geological Expedition, Berehove, Ukraine*

Thermoelectric properties of arsenopyrite from Bans'kyi ore manifestation (Rakhiv ore region, Transcarpathians) have been investigated. Existence of two formations of the arsenopyrite generation that differ by morphometric characteristics and thermoelectric properties was determined.

Key words: arsenopyrite, thermoelectric force, gold, sericite-quartz rocks, Rakhiv ore region.

Стаття надійшла до редколегії 15.10.2007
Прийнята до друку 19.11.2007