

УДК 553.411 (477)

О. В. Бондар, Н. Ф. Дуднік

Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара

ДОСЛІДЖЕННЯ КРИСТАЛОМОРФОЛОГІЇ І СКЛАДУ ПІРИТІВ ІЗ РУДНИХ ЗОН СЕРЕДНЬОГО ПРИДНІПРОВ'Я

Вивчалася форма кристалів піриту з метою використання даного матеріалу для пошуку та оцінки рудопроявів золота.

Ключові слова: пірит, золото, сингонія, кристали, Середнє Придніпров'я.

Изучалась форма кристаллов пирита с целью использования данного материала для поиска и оценки рудопроявлений золота.

Ключевые слова: пирит, золото, сингония, кристаллы, Среднее Приднепровье.

Form crystals of pyrite was studied in order to use this material for search and evaluation of gold ore occurrences.

Keywords: pyrite, gold, crystal system, crystal, Middle Pridneprovie.

Постановка проблеми. Огляд золотоносності Українського кристалічного щита, зеленокам'яних структур Українського кристалічного щита, Солонянського золоторудного поля, родовищ Сергіївське та Балка Золота свідчить про те, що виявлення золотоносності України та відкриття промислових золотоносних родовищ є одним із головних досягнень за останні три десятиріччя. Золоте зруденіння України розвивалося від раннього докембрію (3100–2900 млн. років) до кайнозою (303 млн. років). Найпродуктивнішими металогенічними епохами були пізньоархейська, ранньопротерозойська, середньо-пізньопротерозойська, герцинська та альпійська.

Мета роботи. Наведені мінералого-геохімічні особливості, розподіл та зв'язки золота і супровідних елементів у золотоносних піритах із кислих і основних порід золоторудних родовищ Середнього Придніпров'я.

Викладення основного матеріалу. Пірити утворюються у великому діапазоні температур і за походженням можуть бути пізньомагматичними, гідротермальними або навіть гіпергенними. Форма кристалів піриту залежить від часу його виділення, особливостей складу і окисно-відновлювальних умов процесу кристалізації.

Найбільш стійкими в різних стадіях гідротермального процесу є кристали кубічного, октаедричного і пентагондодекаедричного вигляду, рідко ромбододекаедричної і тетрагонтриоктаедричної форми.

Багато дослідників вважають [1], що у високотемпературній стадії розвиваються в основному кубічні і октаедричні кристали, ромбододекаедричної і тетрагондодекаедричної форми з вищими елементами симетрії, в середньотемпературній – пентагондодекаедричні, а в низькотемпературній – поліедричні кристали, утворені гранями куба і пентагондодекаедра.

Приблизно 45 % золотовміщуючих піритів Середнього Придніпров'я представлено ідіоморфними і близько ідіоморфними кристалами, решта 55 % – неправильними виділеннями. В їх числі більше 32 % мають розмір від 0,5 до 1 мм; 21 % – від 0,2 до 0,3 мм; 13 % – від 0,1 до 0,2 мм; 13 % – від 0,3 до 0,4 мм. У значній більшості з них (65,2 %) вміст золота нижчий за 100 г/т.

© О. В. Бондар, Н. Ф. Дуднік, 2010

Кристаломорфологічні різновиди піриту були вивчені в концентратах із зон інтеграції в корах звітрювання за кислими породами (св. 971, гл. 51,0–72,0 м) і за основними породами (св. 971, гл. 72,0–78,0 м).

У корах звітрювання по основним породам і лиственітоподібним метасоматитам розвинені переважно кристали піриту кубічного габітусу {100}. Спостерігаються також полігональні зростки кубів і рідше двійники зростання. Друге місце за частотою зустрічаємості займають пірити октаедричного габітусу {111}. У вигляді поодиноких спостерігаються ромбододекадричні форми {211}.

Серед складних поліедрів переважають кубооктаедри (з переважаючим розвитком граней куба). Таким чином, куб і октаедр є переважаючими звичними формами піритів основних порід. Для піритів характерний світлий латунно-жовтий колір і сильний металевий блиск. Безпосередньо в зоні самого контакту основних порід з кислими процентний вміст піриту у кислих породах зменшується до 1–5 % і різко збільшується вміст турмаліну – до 60 %.

У корах звітрювання по кислим породам переважають кристали піриту неправильної форми, рідше спостерігаються кристали кубічного габітусу {100} і полігональні зростки кубів. Друге місце за частотою зустрічаємості займають пентагондодкадричні форми {210} у вигляді дуже дрібних кристалів розміром від 0,001 до 0,01 мм, ще рідше трапляються пірити октаедричного і ромбододекадричного габітусу {110}. Серед складних поліедрів спостерігаються комбінації кубу і пентагондодкаедра {100}, {210} і кубооктаедри (з гранями тетраедра на протилежних вершинах кубу).

Таким чином, для піритів з кислих вулканітів крім форм з високими елементами симетрії є характерними також форми з більш низькими елементами симетрії.

Безпосередньо поблизу контакту кислих і основних порід у кислих породах спостерігаються кристали піриту кубічної форми та їх полігональні зростки темно-сірого, майже чорного кольору. Можливою є присутність сажистого різновиду піриту чорного кольору. На багатьох кристалах піриту спостерігається плівка зеленого нальоту (результат окислення міді). Для піритів кислих порід характерний латунно-жовтий колір з рожеватим відтінком і блиском від матового до напівметалевого. Наявність полігональних зростків піриту дозволяє зробити деякі висновки про генерацию піриту.

Пірити, що мають правильні кристаломорфні форми (куб, октаедр) і вищі елементи симетрії можна віднести до піритів першої генерації. До другої генерації, очевидно, слід віднести більш дрібні, зачасту мікронні і субмікронні зерна піриту, які нерідко нарастають на більш крупні виділення піриту (I генерації), утворюючи полігональні зростки. Підтвердженням існування більш пізньої (II генерації) піриту може бути розвиток його дрібних зерен, що спостерігаються по периферії більш крупних (I генерації).

У піритах із основних порід, в основному, розвинені форми з вищими елементами симетрії: куб і октаедр. Складні поліедри також утворюють комбінації кристалів з вищими елементами симетрії.

В піритах із кислих порід крім кристалів кубічної і рідко октаедричної форми спостерігаються кристали пентагондодкадричного габітусу і комбінації пентагондодкаедра і кубу (з більш низькими елементами симетрії). Пояснення природи складних поліедрів піриту потребує детального і комплексного вивчення. Перш за все, їх необхідно вивчити на більшому статистичному матеріалі для відновлення закономірностей появи тих чи інших форм і встановити причини підвищення симетрії.

Пірити є носіями, а іноді і концентраторами більшості халькофільних елементів. Вивчення закономірностей розподілу в них елементів-домішок має не тільки теоретичний інтерес, але й велике практичне значення. Огляд літератури щодо вмісту елементів-домішок у піритах різного генезису був зроблений рядом авторів [2–5].

Найкраще вивчені рідкі елементи у піритах гідротермального генезису. З літературних даних виходить, що форма знаходження рідких елементів у піритах різна. Багато дослідників вважають [6], що обмежено ізоморфними елементами-домішками у піритах є тільки кобальт, нікель, мідь, селен і телур і, можливо, платиноїди на чолі з рутенієм. До ізоморфних замісників заліза $[Fe^{+2}]$ у піриті відносяться: $[Co^{+2}]$, $[Ni^{+2}]$, $[Cu^{+2}]$. Сірчаний радикал у піриті – спарені атоми $[S^{-2}]$ ізоморфно заміщується радикалом $[Se^{-2}]$ і $[Te^{-2}]$. Виходячи із специфіки структури піриту ізоморфне заміщення в ньому заліза іншими елементами, такими як срібло, золото, ванадій, сурма, титан, телур та інші, вважають цілком неможливим. Також вважається неможливим заміщення радикалу $[S^{-2}]$ на $[AsS]$ або $[AsS_2]$, через те що і у першому і в другому випадку потрібна компенсація валентності, яка у структурі, подібній до піриту, не відбувається.

Компенсація валентності за даною схемою навряд чи можлива ($2Fe^{+2} - Fe^{+3} + Au^{+1}$). У цьому випадку ізоморфне заміщення $[S^{-2}]$ на $[AsS]$ вимагає такої ж компенсації, а вона відсутня у природі.

Багато дослідників відносять домішки срібла, золота, ванадію, сурми, титану, телуру та інших епітаксичних вrostків сульфідних мінералів і вважають, що привнесення до піриту золота може здійснюватися за рахунок епітаксичних вrostків телуридів типу сильваніту.

У піритах Середнього Придніпров'я концентруються переважно рудні халькофільні елементи, особливо сурма, телур, свинець, мідь, нікель, кобальт, ванадій, титан, миш'як, вісмут, селен, а також золото і срібло, для яких вони можуть розглядатися, як геохімічні мінерали-індикатори. Літофільні елементи, такі як ніобій, галій, циркон і марганець у піриті, як правило, не накопичуються. Хоча у піритах із кислих вулканітів у малих концентраціях присутні марганець (0,01–0,5 %), циркон (0–0,7 %). Крім того присутні: 3 % і більше алюмінію, до 10 % і більше кальцію.

У вивчених піритах установлена наявність різних мікрровключень власних мінералів (рудних): халькопіриту, галеніту, сфалериту, магнетиту і титаномангнетиту [7; 8].

Привнесення до піриту золота, срібла та інших елементів може здійснюватися за рахунок механічних або епітаксичних вrostків телуридів нікелю, золота і срібла і других телуридів групи сильваніту: геситу (Ag_2Te), петциту (Ag_3AuTe_2), меланіту ($NiTe_2$), телуробісмутиту (Bi_2Te_3), а також самородних золота і срібла [9].

Таким чином, крім кристалічних факторів (ізоморфізму) важливими вирішальними причинами концентрації елементів-домішок у піритах є їх концентрація в гідротермальних розчинах, тобто геолого-мінералогічні і геохімічні фактори.

Дані про вміст елементів у піритах були одержані у вигляді кількісних визначень (у %) лазерним мікроспектральним аналізом на установці ЛМА (н. с. Н. О. Приходько, НДІ геології ДНУ).

Спроба визначити залежність між формою кристалів піриту і вмістом у них рудних і рідких елементів не дали однозначних результатів.

Кубічні кристали піриту і полігональні зростки кубічної форми з кислих вулканітів, характеризуються постійним вмістом міді, кобальту і нікелю: мідь – 0,0001–0,4 %, середнє – 0,01 %; кобальт – 0,0001–0,04 %, середнє – 0,01 %; нікель – 0,0001–0,005 %, середнє – 0,002 % і значеннями Ni/Co – 0,025–1,0 %.

Дані кристаломорфологічні типи характеризуються слідовими домішками золота і відсутністю срібла. Крім вище перелічених елементів-домішок для піритів характерна концентрація другорядних елементів, які присутні епізодично – титан і хром. Причому, в кубічних формах концентрація титану коливається від 0,001 до 1 %, середні значення – 0,1 %, менше ніж у полігональних зростках піриту від 0,001 до 2,5 %, середнє значення – 0,16 %. Концентрація хрому в них спостерігається епізодично і коливається від 0,00 до 0,02 % (табл. 1).

Таблиця 1

Кристалохімічна характеристика піритів і мікроелементний склад піритів з кислих вулканітів

| Номер сл. ста- біліз. м | Габітус крис- талів | Вміст елементів-домішок, % | | | | | | Відно- шення Ni/Co | Розмір кристалів, мкм | |
|-------------------------------|---------------------------------------|----------------------------|--------|--------|--------|---------|---------|--------------------------|-----------------------------|---|
| | | Au | Cu | Cr | Co | Ti | Ni | | | |
| К-971 60,0 -61,0 | Кубічні форми | - | 0,001 | 0,0010 | 0,005 | 0,001 | 0,003 | 0,600 | 190x200 | |
| | | - | 0,005 | - | 0,010 | 0,050 | 0,005 | 0,500 | 150x150 | |
| | | - | 0,001 | - | 0,005 | 0,001 | 0,001 | 0,200 | 150x150 | |
| | | - | 0,008 | - | 0,005 | 0,001 | 0,001 | 0,200 | 150x150 | |
| | | - | 0,001 | - | 0,009 | 0,001 | 0,001 | 0,110 | 150x150 | |
| | | - | 0,007 | - | 0,030 | 0,100 | 0,003 | 0,100 | 350x300 | |
| | | сл. | 0,007 | - | 0,008 | 0,005 | 0,001 | 0,120 | 100x100 | |
| | | сл. | 0,005 | - | 0,005 | 0,250 | 0,001 | 0,200 | 90x90 | |
| | | - | 0,050 | 0,0020 | 0,040 | 1,000 | 0,001 | 0,250 | 500x450 | |
| | | - | 0,010 | 0,0020 | 0,010 | 0,002 | 0,002 | 0,200 | 400x350 | |
| | | - | 0,020 | 0,0020 | 0,040 | 0,010 | 0,002 | 0,050 | 120x120 | |
| | | - | 0,005 | 0,0020 | 0,030 | 0,100 | 0,002 | 0,060 | 250x250 | |
| | | від | 0 | 0,001 | 0,0010 | 0,005 | 0,001 | 0,001 | - | - |
| | до | сл. | 0,050 | 0,0020 | 0,040 | 1,000 | 0,005 | - | - | |
| середнє | - | 0,010 | 0,0007 | 0,010 | 0,100 | 0,002 | - | - | | |
| К-971 60,0 -61,0 | Полі- гональні зростки кубів | - | 0,003 | 0,0010 | 0,008 | >1,0000 | 0,003 | 0,380 | 250x250 | |
| | | - | 0,001 | 0,0010 | 0,007 | 0,001 | 0,003 | 0,420 | 300x300 | |
| | | - | 0,005 | - | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 1,000 | 150x150 | |
| | | сл. | 0,020 | - | 0,006 | 0,250 | 0,001 | 0,170 | 300x300 | |
| | | - | 0,005 | - | 0,005 | 0,100 | 0,001 | 0,200 | 90x90 | |
| | | - | 0,005 | 0,0200 | 0,001 | 0,002 | 0,001 | 1,000 | 500x450 | |
| | | - | 0,020 | 0,0200 | 0,010 | 0,100 | 0,002 | 0,200 | 100x150 | |
| | | - | 0,008 | 0,0200 | 0,020 | 0,010 | 0,002 | 0,100 | 150x160 | |
| | | - | 0,008 | 0,0200 | 0,020 | 0,080 | 0,002 | 0,100 | 500x450 | |
| | | - | 0,008 | 0,0200 | 0,030 | 0,090 | 0,002 | 0,070 | 250x250 | |
| | | від | 0 | 0,001 | 0,0000 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | - | - |
| | | до | сл. | 0,020 | 0,0200 | 0,030 | >1,0000 | 0,003 | - | - |
| | | середнє | - | 0,008 | 0,0100 | 0,010 | 0,160 | 0,001 | - | - |

Примітка: сл. – сліди.

Наявність у піритах титану і хрому, вірогідно, обумовлена мікроростками і зростаннями з ними магнетиту і титаномангнетиту у вигляді самостійних мінеральних фаз. Октаедричні і пентагондодокаедричні кристали піриту, а також поліедричні кристали (комбінації пентагондодокаедра і кубу) характеризуються також постійним, але більш низьким вмістом: міді – 0,001–0,02 %, середнє – 0,007 %; кобальту – 0,00–

0,008 %, середнє значення – 0,001 %; нікелю – 0,001–0,003 %, середнє – 0,002 % і значеннями Ni/Co – 0,2–3,0 %. Концентрація в них другорядних елементів (титану і хрому) також знижується: титан – 0,001–0,3 %, середнє 0,06 %; хром – 0,00–0,001 %, середнє – 0,0008 %. Епізодично присутній ванадій – 0,00–0,01 %. Домішки золота і срібла в даних формах відсутні (табл. 2).

Таблиця 2

Кристаломорфологічна характеристика піритів і мікроелементний склад піритів з кислих вулканітів

| Номер св., глибина, м | Габітус і вигляд кристалів | Вміст елементів-домішок, % | | | | | | | Відношення Ni/Co | Розмір кристалів, мкм |
|------------------------|-----------------------------|----------------------------|-------|--------|--------|--------|---------|-------|------------------|-----------------------|
| | | Au | Cu | V | Cr | Co | Ti | Ni | | |
| К-971 60,0 –61,0 | Октаедр | – | 0,003 | – | 0,0010 | – | 0,0010 | 0,001 | – | 100x100 |
| | Октаедр | – | 0,005 | – | 0,0010 | 0,0080 | 0,0010 | 0,003 | 0,370 | 200x200 |
| | Пентагон-додекаедр | – | 0,005 | – | 0,0010 | 0,0080 | 0,0100 | 0,003 | 0,370 | 165x165 |
| | Октаедр | – | 0,001 | – | 0,0010 | 0,0010 | 0,0010 | 0,003 | 3,000 | 150x190 |
| | Пентагон-додекаедр та куб | – | 0,020 | 0,010 | – | 0,0050 | 0,3000 | 0,001 | 0,200 | 150x125 |
| | від | – | 0,001 | 0,000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0010 | 0,001 | – | – |
| | до | – | 0,020 | 0,010 | 0,0010 | 0,0080 | 0,3000 | 0,003 | – | – |
| | середнє | – | 0,007 | – | 0,0008 | 0,0040 | 0,0600 | 0,002 | – | – |
| К-971 60,0 –61,0 | Призматична форма | – | 0,008 | – | – | 0,0030 | >1,0000 | 0,003 | 1,000 | 130x100 |
| | Видовжена форма | – | 0,500 | – | – | 0,0300 | 0,1000 | 0,003 | 0,100 | 325x300 |
| | | – | 0,007 | – | – | 0,0010 | 0,3000 | 0,001 | 1,000 | 300x150 |
| | Призматично-видовжена форма | 0,005 | 0,005 | – | – | 0,0400 | 0,0050 | 0,001 | 0,250 | 300x165 |
| | | – | 0,005 | – | 0,0020 | 0,0100 | 0,0020 | 0,001 | 0,100 | 100x80 |
| | від | 0,000 | 0,005 | – | 0,0000 | 0,0010 | 0,0020 | 0,001 | – | – |
| | до | 0,005 | 0,500 | – | 0,0020 | 0,0400 | >1,0000 | 0,003 | – | – |
| середнє | 0,001 | 0,100 | – | 0,0004 | 0,0200 | 0,3000 | 0,001 | – | – | |
| К-971 60,0 –61,0 | Неправильні обмеження | – | 0,003 | – | 0,0010 | 0,0080 | 0,0100 | 0,003 | 0,370 | 200x300 |
| | | – | 0,001 | – | 0,0010 | 0,0080 | 0,1000 | 0,003 | 0,370 | 180x100 |
| | | – | 0,001 | – | 0,0010 | 0,0050 | 0,0010 | 0,003 | 0,600 | 250x300 |
| | | сл. | 0,007 | – | – | 0,0080 | 0,0050 | 0,001 | 0,125 | 160x100 |
| | | – | 0,008 | – | 0,0020 | 0,0300 | – | 0,002 | 0,070 | 250x300 |
| | від | – | 0,001 | – | 0,0000 | 0,0050 | 0,0000 | 0,001 | – | – |
| | до | – | 0,008 | – | 0,0020 | 0,0300 | 0,1000 | 0,003 | – | – |
| | середнє | – | 0,004 | – | 0,0010 | 0,0100 | 0,0200 | 0,002 | – | – |

У піритах неправильної і видовжено-призматичної форми присутні також підвищені і постійні концентрації: мідь (0,001–0,008 %), середнє – 0,004 %; кобальт (0,005–0,03 %), середнє 0,01 %; нікель (0,001–0,003 %), середнє – 0,002 %; значення Ni/Co – 0,1–1 %. Спостерігаються незначні концентрації золота (сл. – 0,005 %) при відсутності срібла. У вигляді другорядних епізодично присутні титан (0,00–0,1 %), середнє – 0,02 % і хром (0,00–0,002 %), середнє – 0,001 %.

Таким чином, у піритах з кислих вулканітів спостерігається досить висока концентрація міді, нікелю, кобальту. Дані елементи-домішки є найбільш характерними індикаторними елементами у піритах.

Висновки. Висока ступінь концентрації халькофільних елементів дозволяє зробити деякі висновки щодо генезису:

- 1) у піритах з кислих вулканітів спостерігається концентрація міді, кобальту, нікелю, титану – тобто характерних елементів основної магми;
- 2) встановлено, що високотемпературні пірити містять підвищені кількості кобальту і нікелю. За даними Н. С. Бородіної піритах гранітоїдів габрової формації прип'ятманні сильно підвищені концентрації нікелю і особливо кобальту.

На основі отриманих даних можна припустити, що кислі вулканіти Середнього Придніпров'я є похідними диференціалами основної магми.

Характер розподілу мікроелементів у піритах з основних вулканітів дещо інший, ніж у піритах з кислих вулканітів (табл. 2, 3, 4). Помітна деяка відмінність у кількісному вмісті і в наборі мікроелементів у піритах з порід різного складу. У піритах з основних порід спостерігається концентрація переважно халькофільних елементів: мідь, кобальт, нікель, молібден, цинк, а також золото і срібло. Літофільний елемент – марганець спостерігається в незначних концентраціях (0,01–0,5%).

Найбільш характерними і постійними індикаторними елементами-домішками у піритах із основних вулканітів можна вважати: мідь, кобальт, нікель, срібло, титан. Вміст золота, ванадію, цинку, молібдену, хрому спостерігається епізодично і залежить від фізико-хімічних умов кристалізації і, можливо, від кристаломорфологічних особливостей піритів.

Своєрідність складу піритів з основних порід полягає у постійному і підвищеному вмісті в них срібла і міді, в той час як вміст кобальту і нікелю – знижений.

В основних породах переважають пірити кубічного і кубооктаедричного габітусу з домішками мікроелементів: мідь (0,001–0,1 %), середнє – 0,03 %; кобальт (0,004–0,02 %), середнє – 0,007 %; нікель (0,001–0,002 %), середнє – 0,001 %. Вони характеризуються контрастним відношенням нікелю і кобальту (0,05–0,4 %).

Найбільш інтенсивно і повсюди у піритах кубічного і кубооктаедричного габітусу накопичується срібло (сл. – більше 1 %) – середнє значення дорівнює 0,04 %. Дослідження також показали, що найбільший вміст золота (більше 1 %) мають кристали, обмежені гранями куба. У них вміст золота коливається від 0,00 до більше 1 %, середнє значення – 0,04 %.

Крім того, у піритах кубічного і кубооктаедричного габітусу комплекс епізодично супроводжуючих їх елементів-домішок більш різноманітний: ванадій (0,00–0,01 %), середнє – 0,0003 %; цинк (0,00–0,02 %), середнє – 0,001 %; молібден (0,00–0,003 %), середнє – 0,001 %; хром (0,00–0,003 %), середнє – 0,007 %; титан (0,002–0,15 %), середнє – 0,03 %.

Вміст молібдену вищий в кубооктаедричних формах, а вміст золота і срібла – в кубічних кристалах (табл. 3, 4).

У полігональних зростках кубічних кристалів відмічається слідуєчий склад елементів-домішок: срібло (сл. – 0,002 %), середнє – 0,0003 %; мідь (0,003–0,05 %), середнє – 0,01 %; хром (0,00–0,002 %), середнє – 0,0003 %; кобальт (0,005–0,02 %) середнє – 0,007 %; нікель (0,001–0,002 %), середнє – 0,001 %; титан (0,001–0,2 %), середнє – 0,05 %.

У полігональних зростках кубічних кристалів відсутні концентрації золота, ванадію, цинку, молібдену і спостерігається на порядок нижчий вміст срібла (табл. 4).

Таблиця 3

Кристаломорфологічна характеристика і мікроелементний склад піритів із основних вулканітів

| Номер св., глибина, м | Габітус і вигляд кристалів | Вміст елементів-домішок, % | | | | | | | | | | | | | Відношення Ni/Co | Розмір кристалів, мкм |
|--------------------------|-------------------------------|----------------------------|----------|-------|--------|-------|--------|--------|-------|-------|--------|------|-----------|--|---------------------|--------------------------|
| | | Au | Ag | Cu | V | Zn | Mo | Cr | Co | Ti | Ni | Co | Ni | | | |
| | | > 1,0000 | > 1,0000 | 0,100 | - | - | сл. | 0,0020 | 0,007 | 0,008 | 0,0010 | 0,14 | 800x800 | | | |
| | | - | 0,0001 | 0,050 | - | - | сл. | - | 0,006 | 0,005 | 0,0020 | 0,33 | 1000x800 | | | |
| | | 0,005 | 0,0001 | 0,030 | - | - | сл. | сл. | 0,006 | 0,004 | 0,0020 | 0,33 | 1200x1200 | | | |
| | | - | 0,0008 | 0,030 | - | - | - | - | 0,006 | 0,004 | 0,0020 | 0,33 | 1200x1200 | | | |
| | | - | 0,0008 | 0,030 | - | - | - | - | 0,006 | 0,004 | 0,0020 | 0,33 | 500x500 | | | |
| | | - | 0,0008 | 0,060 | - | - | - | - | 0,006 | 0,150 | 0,0020 | 0,33 | 900x900 | | | |
| | | - | 0,0001 | 0,060 | - | - | - | 0,0100 | 0,006 | 0,010 | 0,0020 | 0,20 | 500x500 | | | |
| | | - | 0,0006 | 0,007 | 0,0100 | 0,010 | сл. | 0,0030 | 0,010 | 0,010 | 0,0020 | 0,20 | 800x500 | | | |
| | | 0,005 | 0,0006 | 0,100 | - | 0,010 | - | - | 0,010 | 0,060 | 0,0020 | 0,33 | 300x200 | | | |
| | | - | 0,0001 | 0,005 | - | - | сл. | сл. | 0,006 | 0,002 | 0,0020 | 0,25 | 1200x1200 | | | |
| | | - | 0,0001 | 0,004 | - | - | - | - | 0,004 | 0,006 | 0,0010 | 0,17 | 300x300 | | | |
| | | - | 0,0001 | 0,006 | - | - | 0,0030 | - | 0,006 | 0,008 | 0,0010 | 0,11 | 800x800 | | | |
| | | - | сл. | 0,050 | - | - | - | - | 0,007 | 0,005 | 0,0008 | 0,25 | 500x500 | | | |
| | | - | сл. | 0,050 | - | - | сл. | - | 0,008 | 0,010 | 0,0020 | 0,40 | 300x300 | | | |
| | | - | 0,0007 | 0,010 | - | - | - | - | 0,005 | 0,040 | 0,0020 | 0,14 | 150x150 | | | |
| | | - | сл. | 0,005 | - | - | 0,0010 | 0,0020 | 0,007 | 0,010 | 0,0010 | 0,14 | 200x200 | | | |
| | | - | сл. | 0,006 | - | - | 0,0010 | 0,0020 | 0,007 | 0,010 | 0,0010 | 0,14 | 200x300 | | | |
| | | - | сл. | 0,100 | - | - | - | - | 0,007 | 0,005 | 0,0010 | 0,20 | 300x300 | | | |
| | | - | сл. | 0,008 | - | - | - | - | 0,005 | 0,100 | 0,0010 | 0,17 | 150x150 | | | |
| | | - | сл. | 0,005 | - | - | - | - | 0,006 | 0,006 | 0,0010 | 0,17 | 120x120 | | | |
| | | - | сл. | 0,010 | - | - | - | - | 0,006 | 0,050 | 0,0010 | 0,33 | 150x150 | | | |
| | | - | сл. | 0,010 | 0,020 | - | сл. | - | 0,006 | 0,150 | 0,0020 | 0,12 | 200x150 | | | |
| | | - | сл. | 0,006 | - | - | - | - | 0,008 | 0,040 | 0,0010 | 0,17 | 200x150 | | | |
| | | - | сл. | 0,006 | - | - | - | 0,0010 | 0,006 | 0,008 | 0,0010 | 0,05 | 100x100 | | | |
| | | 0,005 | сл. | 0,020 | - | - | - | - | 0,020 | 0,008 | 0,0010 | 0,20 | 150x150 | | | |
| | | - | сл. | 0,001 | - | - | - | - | 0,005 | 0,005 | 0,0010 | - | - | | | |
| | | 0 | сл. | 0,001 | 0,0000 | 0,000 | 0,000 | 0,0000 | 0,004 | 0,002 | 0,0010 | - | - | | | |
| | від | > 1,0000 | > 1,0000 | 0,100 | 0,0100 | 0,020 | 0,0030 | 0,0030 | 0,020 | 0,150 | 0,0020 | - | - | | | |
| | до | 0,040 | 0,040 | 0,030 | 0,0003 | 0,001 | 0,0001 | 0,0004 | 0,007 | 0,030 | 0,0010 | - | - | | | |
| | середнє | | | | | | | | | | | | | | | |

Кубічні форми

К-971
72,0 - 75,0

Таблиця 4

Кристаломорфологія та характеристика піритів і мікроелементний склад піритів з основних вулканітів

| Номер св., глибина, м | Габітус і вигляд кристалів | Вміст елементів-домішок, % | | | | | | | | | | | Відношення Ni/Co | Розмір кристалів, мкм |
|-------------------------|---|----------------------------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-----------|------------------|-----------------------|
| | | Au | Ag | Cu | V | Zn | Mo | Cr | Co | Ti | Ni | | | |
| К-971 72,0 - 75,0 | Кубооктаедри | 0,00010 | 0,010 | 0,003 | — | сл. | 0,0010 | 0,0010 | 0,008 | 0,0080 | 0,001 | 0,12 | 1000x500 | |
| | | 0,00010 | 0,003 | 0,030 | — | 0,0010 | — | — | 0,008 | 0,0050 | 0,002 | 0,25 | 800x800 | |
| | | 0,00070 | 0,001 | 0,001 | — | сл. | 0,0080 | 0,005 | 0,006 | 0,1000 | 0,002 | 0,33 | 1000x800 | |
| К-971 72,0 - 75,0 | від до середне | 0,00010 | 0,001 | 0,010 | — | сл. | 0,0000 | 0,008 | 0,1000 | 0,002 | — | — | — | |
| | | 0,00040 | 0,010 | 0,010 | — | 0,0002 | 0,0080 | 0,006 | 0,300 | 0,002 | 0,001 | 0,33 | 800x800 | |
| | | 0,00010 | 0,050 | 0,010 | — | сл. | — | 0,006 | 0,0050 | 0,002 | 0,001 | 0,40 | 1000x500 | |
| К-971 72,0 - 75,0 | Полігональні зростки кубів | 0,00010 | 0,006 | 0,003 | — | — | 0,0020 | 0,010 | 0,0080 | 0,002 | 0,20 | 900x800 | | |
| | | 0,00200 | 0,006 | 0,003 | — | сл. | — | 0,006 | 0,2000 | 0,002 | 0,33 | 700x700 | | |
| | | 0,00010 | 0,005 | 0,004 | — | — | — | 0,005 | 0,0400 | 0,001 | 0,17 | 500x500 | | |
| К-971 72,0 - 75,0 | Неправильно-видовжені призматичні форми | 0,00040 | 0,004 | 0,010 | — | — | 0,0010 | 0,006 | 0,0400 | 0,002 | 0,33 | 300x200 | | |
| | | 0,00070 | 0,010 | 0,010 | — | — | — | 0,005 | 0,1000 | 0,001 | 0,20 | 300x300 | | |
| | | сл. | 0,008 | 0,008 | — | — | — | 0,020 | 0,0060 | 0,001 | 0,05 | 180x180 | | |
| К-971 72,0 - 75,0 | від до середне | сл. | 0,010 | 0,003 | — | — | 0,0000 | 0,005 | 0,0010 | 0,001 | — | — | — | |
| | | 0,00200 | 0,050 | 0,010 | — | сл. | 0,0020 | 0,020 | 0,2000 | 0,002 | — | — | — | |
| | | 0,00030 | 0,010 | 0,008 | — | — | 0,0003 | 0,007 | 0,0500 | 0,001 | 0,17 | 500x600 | | |
| К-971 72,0 - 75,0 | Неправильно-видовжені призматичні форми | сл. | 0,006 | 0,005 | — | — | — | 0,006 | 0,0040 | 0,001 | 0,12 | 800x800 | | |
| | | сл. | 0,005 | 0,005 | — | — | сл. | 0,008 | 0,3000 | 0,001 | 0,14 | 1300x1300 | | |
| | | сл. | 0,001 | 0,001 | — | 0,001 | — | 0,007 | 0,0100 | 0,001 | 0,20 | 1000x700 | | |
| К-971 72,0 - 75,0 | призматичні форми | сл. | 0,100 | 0,005 | — | — | — | 0,005 | 0,0040 | 0,002 | 0,40 | 500x500 | | |
| | | сл. | 0,005 | 0,300 | 0,0080 | — | сл. | 0,006 | 0,0040 | 0,002 | 0,33 | 600x600 | | |
| | | 0,00010 | 0,005 | 0,010 | — | 0,0030 | 0,0030 | 0,008 | 0,1000 | 0,003 | 0,37 | 500x500 | | |
| К-971 72,0 - 75,0 | від до середне | 0,00010 | 0,004 | 0,004 | — | — | — | 0,008 | 0,0020 | 0,002 | 0,25 | 600x300 | | |
| | | 0,00010 | 0,060 | 0,060 | — | 0,0100 | — | 0,006 | 0,0080 | 0,008 | 1,33 | 900x600 | | |
| | | 0,00010 | 0,040 | 0,040 | — | — | — | 0,005 | 0,0080 | 0,001 | 0,20 | 400x400 | | |
| К-971 72,0 - 75,0 | від до середне | сл. | 0,004 | 0,001 | — | — | — | 0,007 | 0,0030 | 0,001 | 0,14 | 200x200 | | |
| | | сл. | 0,001 | 0,300 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,005 | 0,0009 | 0,001 | — | — | | |
| | | 0,00010 | 0,300 | 0,040 | 0,0080 | 0,0030 | 0,0030 | 0,008 | 0,3000 | 0,008 | 0,008 | — | | |

Своєрідним є і склад піритів неправильної і видовжено-призматичної форми: мідь (0,001–0,3 %), середнє – 0,04 %; кобальт (0,005–0,008 %), середнє – 0,006 %; нікель (0,001–0,008 %), середнє – 0,002%; срібло (сл. – 0,0001 %), середнє – 0,00005 %; титан (0,0009–0,3 %), середнє – 0,03 %. Епізодично і в дуже незначних кількостях в них присутні: ванадій (0,00–0,008 %), середнє – 0,0006 %; цинк (0,00–0,01 %), середнє – 0,0008 %; молібден (0,00–0,001 %), середнє – 0,00008 %; хром (0,00–0,003 %), середнє – 0,0002 %.

Таким чином, кристали піриту даного вигляду характеризуються найбільш низьким вмістом срібла (сл. – 0,0001 %), середній – 0,00005 % і відсутністю концентрацій золота, але більш високими концентраціями міді.

На основі викладеного вище можна зробити наступні висновки:

1. Важливою особливістю складу піритів із основних вулканітів є підвищені концентрації, у першу чергу, срібла (400 г/т), міді (1000 г/т), цинку (200 г/т), що є характерним важливим геохімічним критерієм для золотосульфідних родовищ;

2. У піритах із основних вулканітів у порівнянні з піритами з кислих порід з'являються такі мікроелементи як ванадій, цинк, молібден, значно збільшується вміст срібла і особливо міді, що свідчить про наявність низькотемпературної генерації цього мінералу;

3. Мінералогічним пошуковим критерієм на золото є кристали піриту з основних порід кубічного габітусу. Золото міститься в кількостях від 0,005 до > 1 %, середнє – 0,04 % (400 г/т). Наявність золота у піритах є геохімічним індикатором золотого зрудення. Багато авторів вважають, що тяжіння золота до піриту пов'язане з явищем його сорбції і одночасної кристалізації власних сполук з сурмою (Sb) і з телуrom (Te). Їх розклад з падінням температури (розклад твердого розчину) і привів до знаходження емульсійної вкрапленості золота у піритах. Пірити є носіями і концентраторами золота;

4. Срібло розподіляється у піритах нерівномірно, що залежить, головним чином, від температури їх утворення. Від найбільш високотемпературних генерацій піритів (з кислих вулканітів до більш низькотемпературних з основних порід) вміст срібла збільшується [5];

5. У піритах з кислих вулканітів відмічені підвищені концентрації кобальту і нікелю. Причому концентрації кобальту встановлені в більш високих кількостях, ніж нікелю, хоча його кларк майже в три рази нижчий. Можна припустити, що пірити з кислих вулканітів є більш високотемпературними. Високий вміст кобальту і нікелю, вірогідно, пояснюється тим, що в регіоні присутні основні і ультраосновні породи, які є їх джерелом;

6. На основі викладеного вище можна виділити пірити двох генетичних типів: а) пірити, пов'язані з гідротермальною стадією рудоутворення. У піритах відмічені підвищені концентрації золота, срібла, міді, ванадію, цинку, молібдену, хрому, нікелю, кобальту (табл. 5); б) пірити, пов'язані з гранітоїдами базальтоїдного походження, особливістю яких є підвищені концентрації міді, нікелю, кобальту, титану (табл. 6).

Таблиця 5

Середній вміст мікроелементів в піритах з основних порід, %

| Кристаломорфологічні типи піритів | Au | Ag | Cu | V | Zn | Mo | Cr | Co | Ti | Ni |
|---|------|---------|------|--------|--------|---------|--------|-------|------|-------|
| Кубічний габітус | 0,04 | 0,04000 | 0,03 | 0,0030 | 0,0010 | 0,00100 | 0,0004 | 0,007 | 0,03 | 0,001 |
| Полігональні зростки кубічних кристалів | – | 0,00030 | 0,01 | – | – | – | 0,0003 | 0,006 | 0,05 | 0,001 |

Закінчення табл. 5

| Кристаломорфологічні типи піритів | Au | Ag | Cu | V | Zn | Mo | Cr | Co | Ti | Ni |
|---|----|---------|------|--------|--------|---------|--------|-------|------|-------|
| Неправильної призматично-подовженої форми | – | 0,00005 | 0,04 | 0,0006 | 0,0008 | 0,00008 | 0,0002 | 0,006 | 0,03 | 0,002 |
| Кубооктаедричний габітус | – | 0,00040 | 0,01 | – | – | 0,00020 | 0,0020 | 0,006 | 0,03 | 0,001 |

Таблиця 6

Середній вміст мікроелементів у піритах із кислих порід, %

| Кристаломорфологічні типи піритів | Au | Ag | Cu | V | Zn | Mo | Cr | Co | Ti | Ni |
|-----------------------------------|-------|----|-------|---|----|----|--------|-------|------|-------|
| Пентагондодесичний габітус | – | – | 0,007 | – | – | – | 0,0008 | 0,004 | 0,06 | 0,002 |
| Призматично-подовженої форми | 0,001 | – | 0,100 | – | – | – | 0,0040 | 0,020 | 0,30 | 0,001 |
| Неправильної форми | сл. | – | 0,004 | – | – | – | 0,0010 | 0,010 | 0,02 | 0,002 |

Бібліографічні посилання

1. Монахов В. С. Метасоматическая зональность Сурской синклинали / В. С. Монахов. – К., 1986. – 190 с.
2. Абдулаев Г. К. К вопросу о связи морфологии кристаллов пирита с условиями их образования / Г. К. Абдулаев // Докл. АН Аз ССР. – 1957. – Т. 13. – №1. – С. 43–48.
3. Казицын Ю. В. О различных морфологических типах пирита / Ю. В. Казицын // Кристаллография. – 1956. – Вып. 5. – С. 159–166.
4. Авякин А. А. О содержании примесей в кристаллах пирита различной морфологи / А. А. Авякин, Г. М. Мкртчян // Докл. АН СССР. – 1965. – Т. 41. – №2. – С. 112–117.
5. Лякович В. В. Редкие элементы в акцессорных минералах гранитоидов / В. В. Лякович. – М., 1973. – 310 с.
6. Бадалов С. Т. Изоморфные элементы – примеси пиритов / С. Т. Бадалов, А. С. Поваренных // Геол. журн. – 1970. – Т. 30. – №3. – С. 27–34.
7. Ильвицкий М. М. Микрорентгеноспектральный анализ сульфидов месторождения Балка Золотая / М. М. Ильвицкий, Н. Ф. Дудник, Ж. М. Балла // Актуальні проблеми геології, географії та екології. Т. 2. 36. – Д., 1999. – С. 71–75.
8. Иванов В. Н. Некоторые особенности в распределении золота в пиритах двух золотопроявлений Среднего Приднепровья / В. Н. Иванов, М. М. Ильвицкий, Н. Ф. Дудник и др. // Деп. В ГНТБ Украины 25.11.95. – № 2486 УК 95. – 11 с.
9. Бобров О. Б. Структурно-формаційна позиція золоторудних родовищ тоналіт-зеленокам'яних комплексів Українського щита / О. Б. Бобров, А. О. Сіворонов / Наукові основи прогнозування, пошуків та оцінки родовищ золота. – Львів, 1999. – С. 22–23.

Надійшла до редколегії 21.12.09