

УДК 553.31 : 549.3 (477.63)

Смирнова А.Ю., Євтехов В.Д.

Топомінералогія і технологічна мінералогія сульфідів з зон натрієвого метасоматозу залізних руд Інгулецького родовища (Криворізький басейн)

Розглянуто особливості морфології і мінералогічної зональності тіл натрієвих метасоматитів родовища, вмісту піриту і піротину в рудах зон егіринізації, рибекітизації і обкварцування залістистих кварцитів у порівнянні з їх незмінними відмінами. Наведено дані про перерозподіл сульфідів між магнетитовим концентратом і відходами збагачення у процесі подрібнення і магнітної сепарації залізорудної сировини з різних метасоматичних зон.

Інгулецьке родовище бідних магнетитових руд (магнетитових кварцитів) розташоване в замковій частині Лихманівської синклінали – крайньої південної структури Криворізького басейну. Продуктивна товща родовища, яке розробляється Інгулецьким гірничозбагачувальним комбінатом (ІнГЗКом), включає всі залістисті горизонти саксаганської світи – від першого до п'ятого. Це обумовлює надзвичайну строкатість мінерального і хімічного складу, структурних і текстурних характеристик і, як наслідок, технологічних параметрів руд родовища, що помітно відрізняє їх від руд родовищ інших гірничозбагачувальних комбінатів басейну. Одним з чинників, що обумовили широкий спектр коливань зазначених показників руд, був натрієвий метасоматоз.

Натрієві метасоматити родовища представлені егіринізованими, рибекітизованими, значно рідше альбітизованими відмінами первинних залістистих кварцитів різного мінерального складу. Як і в межах інших родовищ Кривбасу (Первомайське і Ганнівське Північного ГЗКу, Петровське і Артемівське Центрального ГЗКу, родовища шахт північної частини Саксаганського залізорудного району басейну), егірин і рибекіт формувались внаслідок впливу вуглекисло-натрієвих метасоматизуючих розчинів на гематит-магнетитові і магнетитові кварцити центральних частин залістистих горизонтів. В периферійних їх частинах, складених силікат-магнетитовими і магнетит-силікатними кварцитами, внаслідок дії цих же розчинів проходило утворення магнезорібекиту (продукту псевдоморфізації кумінгтоніту рибекітом) а також альбіту, що формувався внаслідок метасоматичного заміщення високоглиноземистих мінеральних фаз – біотиту і хлориту [1-3, 5]. Прояви альбіту зустрічаються досить рідко.

Натрієвий метасоматоз в межах продуктивної товщі Інгулецького родовища проявлений відносно слабо у порівнянні з названими вище родовищами Криворізького басейна, в першу чергу – Первомайським,

Ганнівським, Петровським. Середній вміст натрієвих метасоматитів у п'яти залізистих горизонтах родовища коливається від 0,0 до 3,0 об'ємн. %. Найбільш поширені зони натрієвого метасоматозу в межах другого, четвертого і п'ятого залізистих горизонтів. У залізистих кварцитах першого і третього залізистих горизонтів прояви натрієвого метасоматозу зустрічаються епізодично.

Формування натрієвих метасоматитів супроводжувалось надходженням до зон метасоматичних змін залізистих кварцитів сірки, утворенням сульфідів. Найбільше поширення з них мають пірит і піротин, іноді зустрічається халькопірит і надзвичайно рідко – арсенопірит, галеніт і сфалерит [4]. Надмірна кількість сульфідів у рудах родовища, надходження їх підвищеної кількості до магнетитового концентрату є надзвичайно складною і досі не вирішеною проблемою ІнГЗКу. Тому дослідження закономірностей розподілу сульфідів у рудах, їх поведінки у процесі подрібнення і збагачення руд є дуже важливим у теоретичному і прикладному відношеннях.

Егіринові метасоматити родовища представлені, переважно, новоутвореним егірином (кількість змінюється від 15,5 до 67,0, в середньому складає 38,8 об'ємн. %) і реліктовим магнетитом (від 12,2 до 26,1, в середньому 21,4 об'ємн. %), який входив до складу первинних залізистих кварцитів. До другорядних мінералів, що мають реліктову природу, відносяться також кварц (вміст якого коливається від 0,0 до 15,0 об'ємн. % і в середньому складає 11,3 %), залізна слюдка (0,0-7,7, в середньому 4,3 об'ємн. %), кумінгтоніт (0,0-14,2, в середньому 7,1 об'ємн. %) а також мінерали, що присутні в кількості менше 1,0 об'ємн. % – селадоніт, стільпномелан. До другорядних мінералів метасоматичного походження тут відносяться рибекіт, магнезіюрибекіт (3,7-18,2, в середньому 10,4 об'ємн. %) і карбонат, представлений кальцитом, доломітом, ферродоломітом (0,1-3,8, в середньому 1,9 об'ємн. %). Егіринові метасоматити утворюють лінзо- і пластовидні тіла, які залягають згідно з шаруватістю вміщуючих залізистих кварцитів, значно рідше вони представлені жиллоподібними січними тілами. Потужність зон егіринизації змінюється від декількох сантиметрів до перших метрів.

Рибекітові метасоматити складають новоутворений рибекіт або магнезіюрибекіт (кількість змінюється від 6,0 до 42,4, в середньому становить 18,9 об'ємн. %), а також реліктові магнетит (15,6-30,3, в середньому 23,9 об'ємн. %), кварц (20,5-44,2 в середньому 35,8 об'ємн. %) і залізна слюдка (0,4-10,3, в середньому 5,2 об'ємн. %). Як другорядні, в рибекітових метасоматитах присутні також карбонат, селадоніт, стільпномелан, хлорит; кількість їх звичайно не перевищує 1-2 об'ємн. %. Рибекітові метасоматити займають обрамляюче положення по відношенню до егіринових, або утворюють самостійні метасоматичні тіла. Потужність зон рибекітизації змінюється від декількох десятків сантиметрів до 25-30 метрів.

Зони рибекітизації і егіринізації у переважній кількості випадків супроводжуються незначної потужності (від 3-5 до 15-20 м) ореолами слабого обварчування первинних залізнослюдко-магнетитових, магнетитових, рідше – силікат-магнетитових кварцитів. В зонах обкварчування спостерігається незначне заміщення магнетиту, гематиту, а також кумінгтоніту кварцом. Кількість останнього підвищується у порівнянні з первинними породами на 2-10 об'ємн. %.

Зони альбітизації на родовищі дуже незначні за потужністю (від декількох міліметрів до 10-15 сантиметрів). Вони локалізуються, головним чином, у безпосередній близькості до відносно потужних зон егіринізації і рибекітизації залізнослюдко-магнетитових, магнетитових, іноді кумінгтоніт-магнетитових кварцитів. Вихідними породами для утворення альбітових метасоматитів були високоглиноземисті біотит-магнетитові, магнетит-біотитові, хлорит-магнетитові, магнетит-хлоритові відміни залістистих кварцитів. Альбіт заміщував у них силікатні, кварц-силікатні прошарки, в яких також відбувалась хлоритизація біотиту і утворення карбонату, переважно кальциту. В рудних (кварц-магнетитових, силікат-кварц-магнетитових) і нерудних (кварцових, силікат-кварцових) прошарках метасоматичні зміни майже не проявлені. Середній вміст альбіту в зонах альбітизації залістистих кварцитів змінюється від 3,3 до 17,8 об'ємн. %, в середньому складає 9,5 %. Форма зон альбітизації лінзовидна, пластоподібна, дуже рідко альбітові метасоматити мають вигляд метасоматичних прожилків – січних або згідних з шаруватістю вміщуючих залістистих кварцитів.

У дослідженнях, результати яких викладено нижче, автори зосередились на егіринових і рибекітових метасоматитах. Альбітизовані відміни руд не вивчалися через їх незначну представленість у продуктивній товщі родовища і незначну інтенсивність альбітизації залістистих кварцитів. З сульфідів вивчалися пірит і піротин, оскільки інші сульфіди зустрічаються в рудах епізодично.

Основною топомінералогічною особливістю тіл натрієвих метасоматитів є досить чітко проявлена мінералогічна зональність. В узагальненому вигляді вона фіксується закономірною зміною в напрямку від центральних (тилових) до периферійних (передових) частин метасоматичних тіл таких мінеральних зон: зона егіринізації → зона рибекітизації → зона обкварчування → незмінені залістисті кварцити [1].

Підрахунки кількісних співвідношень мінералів у різних зонах метасоматичних тіл були виконані на прикладі руд четвертого залістистого горизонту. Одержані результати, які наведено в табл. 1 і показано на рис. 1, свідчать, що максимальний вміст піриту характерний для зон егіринізації. В напрямку передових зон метасоматичних тіл вміст піриту зменшується, одночасно знижується розмір індивідів піриту, погіршується їх кристалографічна досконалість. В зонах обкварчування пірит метасоматичного походження зустрічається відносно рідко і представлений дрібними (0,01-0,1 мм) ксеноморфними кристалами, в той час

як для зон егіринізації більш характерні ідіоморфні (кубічні і кубооктаедричні) кристали, переважний розмір яких коливається від 0,1 до 1,0 мм, іноді досягає 3,0-3,5 мм.

Таблиця 1.
Середній вміст сірки та сульфідів у натрієвих метасоматитах четвертого залізного горизонту

Породи	Кількість визначень	Середній вміст		
		S, мас. %	пірит, об'ємн. %	піротин, об'ємн. %
метасоматити рибекіт-магнетит-егіринові	8	0,213	0,31	0,01
кварцити рибекіт-магнетитові	6	0,204	0,25	0,05
кварцити магнетитові обкварцовані	7	0,176	0,20	0,08
кварцити магнетитові незмінні	10	0,167	0,13	0,11

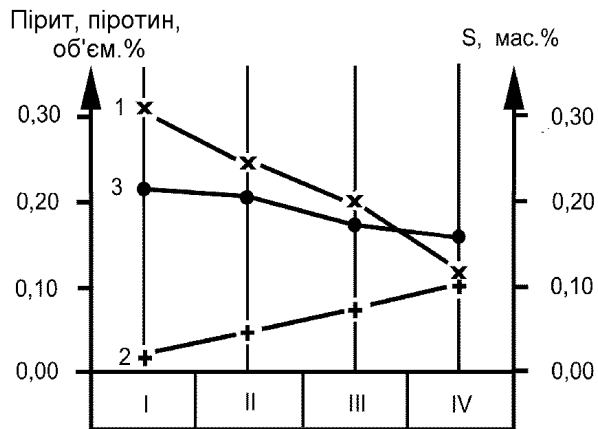


Рис. 1. Характер зміни вмісту сірки і сульфідів в межах зональних тіл натрієвих метасоматитів четвертого залізного горизонту Ігулецького родовища.

1 – пірит; 2 – піротин; 3 – сірка.

Зони метасоматичних тіл: I – егіринізації; II – рибекітизації; III – обкварцювання; IV – незмінні магнетитові кварцити.

Зміни вмісту піротину по метасоматичних зонах мають зворотну тенденцію. У напрямку від егіринових метасоматитів до незмінених магнетитових кварцитів спостерігається поступове збільшення середньої кількості піротину від 0,01 до 0,11 об'ємн.%. Тобто у розрізі метасоматичних тіл від їх тилкових до передових зон відбувається поступове вирівнювання вмісту піротину у метасоматитах з його кількістю у первинних залізистих кварцитах. Збільшення вмісту піротину не компенсує зменшення у згаданому напрямку кількості піриту, тому для сумарного вмісту сірки в метасоматитах характерне поступове зменшення від егіринових метасоматитів через передові зони метасоматичних тіл до незмінених магнетитових кварцитів (крива 3 на рис. 1).

Таким чином, натрієвий метасоматоз, який локально проявився в залізистих кварцитах продуктивної товщі родовища, спричинив незначні зміни вмісту сульфідів в її межах. Деяке підвищення цього показника спостерігається в центральних зонах метасоматичних тіл в зв'язку з егіринізацією, в значно меншій мірі – рибекітизацією

залізистих кварцитів. В зонах обкварцування залізистих кварцитів, які утворюють ореоли навколо метасоматичних тіл, суттєвої зміни вмісту сульфідів не спостерігається. Джерелом сірки при формуванні натрієвих метасоматитів були, вірогідно, метасоматизуючі розчини, походження яких не з'ясоване [3].

Наведені вище дані свідчать, що натрієвий метасоматоз супроводжувався деяким перерозподілом сірки по основних її мінеральних формах. В межах зон егіринізації кількісне співвідношення пірит/піротин є помітно вищим у порівнянні з вихідними залізистими кварцитами. Це, вірогідно, можна пояснити підвищеною фугітивністю сірки у метасоматизуючих розчинах. В межах зон рибекітизації цей показник лише ненабагато перевищує його значення у первинних породах. В зонах обкварцування залізистих кварцитів значення цього показника близькі до його рівня у вміщувачих залізистих кварцитах.

Обумовлений проявом натрієвого метасоматозу перерозподіл сірки між основними мінеральними фазами сульфідів і зміна їх загальної кількості в рудах, без сумніву, повинні були спричинити зміну надходження сірки до магнетитового концентрату, який одержується з руд різних метасоматичних зон у порівнянні з первинними залізистими кварцитами.

Мінералого-технологічні дослідження авторів, спрямовані на вивчення поведінки сульфідів у процесі збагачення незмінених залізистих кварцитів і продуктів їх метасоматичного перетворення, виконувались з використанням матеріалу проб залізистих кварцитів і метасоматитів четвертого залізистого горизонту, які досліджувались для з'ясування мінералогічної спрямованості метасоматозу (табл. 1). Експерименти проводились за технологічною схемою, наближеною до схеми виробництва магнетитового концентрату на збагачувальній фабриці ІнГЗКу. Одержані дані у систематизованому вигляді наведені у табл. 2. Як видно, метасоматити різного складу відрізняються не тільки за якістю залізорудного концентрату, який з них одержують (коливанням середніх значень β_{Fe} від 64,98 до 67,26 мас. %), але і за загальною кількістю сірки (коливання β_S від 0,040 до 0,105 мас. %). Розподіл сірки по концентратах, одержаних з руд різних метасоматичних зон, має закономірний характер: від незмінених залізистих кварцитів через передові до тилкових зон метасоматичних тіл цей показник закономірно і поступово зменшується приблизно у 2,5 рази.

Порівняльні дослідження гранулометричних і морфологічних характеристик піриту і піротину у залізорудній сировині і одержаних з різних за складом руд магнетитових концентратах дали можливість визначити мінералогічні фактори, які обумовили варіації сульфідоемкості останніх.

Від первинних залізистих кварцитів через предові до тилкових зон метасоматичних тіл середній розмір кристалів піриту поступово збільшується від 0,073 мм у магнетитових і залізнослюдко-магнетитових

кварцитах до 0,088 мм у їх обкварцованих відмінах, до 0,134 мм у рибекіт-магнетитових, залізнослюдко-рибекіт-магнетитових кварцитах і до 0,229 мм у рибекіт-магнетит-егіринових метасоматитах. Одночасно спостерігається закономірне покращення кристалографічної досконалості індивідів піриту: якщо в незмінених залізистих кварцитах він представлений, головним чином, ксеноморфними індивідами і зернистими агрегатами, то в егіринових метасоматитах як наголошувалось вище, – переважно, досконалими кристалами кубічного, іноді кубооктаедричного габітусу.

Таблиця 2.

Деякі технологічні показники продуктів збагачення натрієвих метасоматитів четвертого залізистого горизонту

Породи	Кількість визначень	Середні значення показників, мас. %			
		α_{Fe}	α_S	β_{Fe}	β_S
метасоматити рибекіт-магнетит-егіринові	8	39,14	0,213	65,73	0,040
кварцити рибекіт-магнетитові	6	38,55	0,204	67,26	0,061
кварцити магнетитові обкварцовані	7	36,79	0,176	64,98	0,088
кварцити магнетитові незмінені	10	38,21	0,167	66,87	0,105

α_{Fe} і α_S – вміст заліза і сірки у залізистих породах (рудах);

β_{Fe} і β_S – вміст заліза і сірки у одержаному з них магнетитовому концентраті.

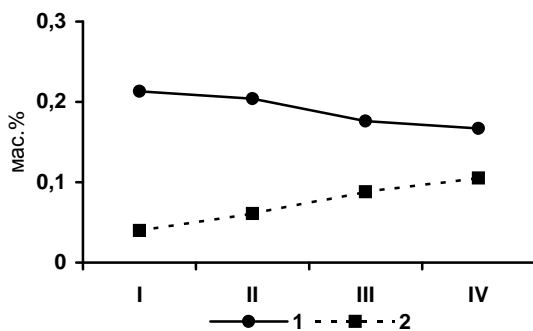


Рис. 2. Зміна вмісту сірки у складі натрієвих метасоматитів четвертого залізистого горизонту і одержаних з них залізрудних концентратах (у відповідності до мінералогічної зональності метасоматичних тіл).

1 – вміст сірки у залізистих породах (рудах);

2 – вміст сірки у одержаному з них магнетитовому концентраті.

Мінеральні відміни руд: I – метасоматити рибекіт-магнетит-егіринові; II – кварцити рибекіт-магнетитові; III – кварцити магнетитові обкварцовані; IV – кварцити магнетитові незмінені.

Збільшення розміру і кристалографічної досконалості індивідів піриту обумовлюють його краще розкриття, відділення від кристалів і агрегатів магнетиту під час подрібнення руд. В свої чергу це є причиною більш ефективного вилучення піриту з залізрудного концентрату в процесі магнітної сепарації і надходження його до відходів збагачення.

Вивчення морфологічних особливостей піротину, взаємовідношення його кристалів з індивідами інших мінералів, показало, що на фоні загального зменшення кількості цього мінералу при наростанні ін-

тенсивності метасоматичних перетворень руд відбувався його перерозподіл між агрегатами рудних і нерудних мінералів. Для незмінених залізистих кварцитів звичайною є дрібна вкрапленість піротину (розмір виділень, головним чином, від 0,01 до 0,03 мм) у рудних прошарках. З наростанням метасоматичних змін одночасно зі зменшенням загальної кількості піротину відбувалось утворення спільних його агрегатів з піритом. Внаслідок цього більша частина піротину у вигляді зростків з немагнітними частками піриту в процесі збагачення спрямовувалась до відходів збагачення.

Підрахунки кількості піриту і піротину у концентраті, одержаному з егіринових метасоматитів, показали, що середній вміст піриту у них становить 0,063 об'ємн. %, а піротину 0,012 %. Відповідні показники концентрату, одержаного з незмінених залізистих кварцитів, становлять 0,131 і 0,076 об'ємн. %.

Таким чином, незважаючи на сприяння натрієвого метасоматозу загальному підвищенню вмісту сульфідів у залізних рудах родовища, одержаний з метасоматично змінених руд магнетитовий концентрат, має низький вміст сірки і за цим показником відповідає вимогам світового ринку до залізорудної сировини.

Крім оцінки одного з технологічних показників натрієвих метасоматитів Інгулецького родовища, одержані дані можуть бути використані при мінералого-технологічних дослідженнях сульфідоемкості руд інших мінералого-генетичних рядів, формування яких було обумовлене утворенням аутигенної мінералогічної зональності залізистих горизонтів, проявом динамотермального метаморфізму різних фацій, вертикальною зональністю кори вивітрювання продуктивної товщі родовища.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Евтехов В.Д., Зарайский Г.П., Балашов В.Н., Валеев О.К.* Зональность натриевых метасоматитов в железистых кварцитах Северного Криворожья / Очерки физико-химической петрологии // Москва: Наука, 1988.– С. 17-37.
2. *Елисеев Н.А., Никольский А.П., Кушев В.Г.* Метасоматиты Криворожского рудного пояса // Москва-Ленинград: Изд. АН СССР, 1961.– 204 с.
3. *Кушев В.Г.* Щелочные метасоматиты докембрия // Ленинград.– Недра, 1972.– 190 с.
4. *Лазаренко Е.К., Гершойг Ю.Г., Бучинская Н.И. и др.* Минералогия Криворожского бассейна // Киев: Наукова думка, 1977.– 544 с.
5. *Стригин О.І.* Парагенезис мінералів егіринізованих порід криворізької серії // Геологічний журнал.– 1959.– №4.– С. 58-69.

СМИРНОВА А.Я., СВТХОВ В.Д. Топомінералогія і технологічна мінералогія сульфідів з зон натрієвого метасоматозу залізних руд Інгулецького родовища (Криворізький басейн).

РЕЗЮМЕ. Натрійовий метасоматоз обумовив утворення зональних тіл у залізистих горизонтах Інгулецького родовища. Центральні їх зони представлені егіриновими метасоматитами, проміжні – рибекіт-вміщуючими залізистими кварцитами, периферійні – їх обкварцованими відмінами. Останні мають нечіткі межі з первинними залізистими кварцитами. Вміст піриту зростає від 0,13 об'ємн.% у первинних залізистих кварцитах до 0,31% в егіринових метасоматитах; вміст піротину знижується, відповідно, від 0,11 до 0,01 об'ємн.%. Це обумовлює більш ефективно вивітрювання сульфідів до хвостів збагачення у процесі магнітної сепарації подрібнених руд

з центральних зон метасоматичних тіл у порівнянні з рудами з периферійних зон і з метасоматично незміненими рудами.

СМИРНОВА А.Я., ЕВТЕХОВ В.Д. Топопоминералогия и технологическая минералогия сульфидов из зон натриевого метасоматоза железных руд Ингулецкого месторождения (Криворожский бассейн).

РЕЗЮМЕ. Натриевый метасоматоз обусловил образование зональных тел в железистых горизонтах Ингулецкого месторождения. Центральные их зоны представлены эгириновыми метасоматитами, промежуточные – рибекит-содержащими железистыми кварцитами, периферийные – их окварцованными разновидностями. Последние имеют нечеткие границы с первичными железистыми кварцитами. Содержание пирита возрастает от 0,13 объемн.% в первичных железистых кварцитах до 0,31% в эгириновых метасоматитах; содержание пирротина снижается, соответственно, от 0,11 до 0,01 объемн.%. Это обуславливает более эффективное удаление сульфидов в хвосты обогащения в процессе магнитной сепарации измельченных руд из центральных зон метасоматических тел в сравнении с рудами из периферийных зон и с метасоматически неизменными рудами.

SMIRNOVA A.Ya., EVTEKHOV V.D. Topomineralogy and technological mineralogy of sulfides from zones of iron ores sodium metasomatism of Inguletskoye deposit (Krivoy Rog basin).

SUMMARY. The sodium metasomatism caused forming a zonal bodies within ferruginous horizons of Inguletskoye deposit. Their central zones are represented by aegirine metasomatites, the intermediate – by riebeckite-containing ferruginous quartzites, peripheral – by their silicified varieties. The last have indistinct boundaries with primary ferruginous quartzites. The pyrite content increase from 0,13 vol.% in primary ferruginous quartzites to 0,31% in aegirine metasomatites; the pyrrhotite content decrease accordingly from 0,11 to 0,01 vol.%. This cause more effective sulfides removing to tailings in course of magnetic separation of disintegrated ores from metasomatic bodies central zones by comparison with peripheral zones ores and with metasomatically not altered ores.

*Надійшла до редакції
13 грудня 2000 р.*