

УДК 549 : 553. 31 (477.63)

В. Стрельцов, інженер-геолог
E-mail: misterstrelcov90@gmail.com
Інгулецький гірничозбагачувальний комбінат
вул. Рудна, 47, м. Кривий Ріг, 50002, Україна
В. Євтехов, д-р геол. наук, проф.
E-mail: evtekhov@gmail.com
А. Євтехова, канд. геол. наук, доц.
E-mail: eva.anna23@gmail.com
М. Шепелюк, асп.
E-mail: m.shepeluk@gmail.com
Державний вищий навчальний заклад "Криворізький національний університет"
вул. В. Матусевича, 11, м. Кривий Ріг, 50002, Україна

ТЕХНОЛОГІЧНА МІНЕРАЛОГІЯ ЗАЛІЗОРУДНИХ РИБЕКІТОВИХ МЕТАСОМАТИТІВ КРИВОРІЗЬКОГО БАСЕЙНУ

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол. наук, доц. С.Є. Шнюковим)

Рибекітові метасоматити належать до поширених різновидів бідних магнетитових руд Первомайського, Ганнівського, Петрівського, Артемівського та деяких інших родовищ Криворізького басейну. Рибекітизація магнетитових кварцитів супроводжувалась зміною розміру та форми кристалів, агрегатів магнетиту й нерудних мінералів, характеру їх контактів, кількісних співвідношень рудоутворювальних і другорядних мінералів. Таким чином, метасоматоз спричинив зміни мінералогічних показників руд, які визначальним чином впливають на їх збагачуваність. Основний показник інтенсивності метасоматозу – середній вміст Na_2O в складі первинних магнетитових кварцитів – близький до 0; в зонах слабких метасоматичних змін, представлених рибекітованими магнетитовими кварцитами, його значення зростає до 0,58 мас.%; в зонах помірних метасоматичних змін (рибекіт-магнетитові кварцити) – до 1,49 мас.%; в зонах найбільш інтенсивних метасоматичних перетворень, складених магнетит-рибекітовими метасоматитами (рибекітитами), – до 2,34 мас.%.
Підвищення інтенсивності метасоматозу спричинило помітне зростання загального вмісту заліза в магнетит-рибекітових метасоматитах порівняно з вихідними магнетитовими кварцитами у зв'язку з частковим винесенням кремнезему лужними розчинами. Вміст заліза, яке входить до складу магнетиту, у цьому ж напрямку закономірно зменшується через часткове заміщення магнетиту рибекітом.

Головний технологічний параметр, за яким визначається ефективність збагачення руд, – загальний вміст заліза у складі концентрату, який виробляється. Від незмінених магнетитових кварцитів до рибекітитів значення цього показника поступово і закономірно зростає. Причина полягає в тому, що підвищення активності рибекітизації сприяло наближенню форми індивідів магнетиту до кристалографічно досконалих. Наслідком цього є поліпшення розкриття кристалів і агрегатів магнетиту при подрібненні руд, зменшення залучення нерудних мінералів до концентрату в складі зростків.

Негатив рибекітизації – погіршення трьох інших технологічних показників бідних магнетитових руд: виходу концентрату, вилучення заліза до його складу та вмісту заліза у складі відходів збагачення (хвостів). Зниження виходу концентрату пов'язане із зменшенням вмісту в складі руд магнетиту через його часткове заміщення рибекітом. Цим же зумовлене зниження показника вилучення заліза до концентрату: до його складу надходить залізо магнетиту, залізо ж у складі рибекіту видаляється до відходів збагачення. Останнє пояснює значне зростання (від 8,04 до 20,79 мас.%) загального вмісту заліза у складі хвостів.

Таким чином, рибекітизація магнетитових кварцитів у мінералого-технологічному відношенні характеризується контрверсійністю. З одного боку, вона супроводжувалась зростанням якості концентрату, з другого – зменшенням виходу концентрату та вилучення заліза до концентрату. Оскільки головним показником ефективності технологічного процесу є вміст заліза у складі концентрату, в цілому рибекітизацію можна розглядати як процес, що сприяв поліпшенню збагачуваності бідних магнетитових руд.

Ключові слова: залізисто-кремніста формація, Криворізький басейн, магнетитові руди, натрієвий метасоматоз, мінеральний склад руд, хімічний склад руд, збагачуваність руд.

Постановка проблеми. Рибекітові метасоматити належать до поширених різновидів бідних магнетитових руд Первомайського, Ганнівського, Петрівського, Артемівського родовищ і сягають понад 50 % загальної маси їх продуктивних товщ. Вони присутні й серед руд Інгулецького, Глеуватського, Валякинського родовищ, а також родовищ шахт "Тернівська", ім. Г.К. Орджонікідзе, "Гвардійська", "Ювілейна", ім. М.В. Фрунзе.

Їх утворення пов'язане з дією вуглекисло-натрієвих метасоматизуючих розчинів на вихідні магнетитові кварцити. Рибекітизація супроводжувалась частковим розчиненням та міграцією мінеральної речовини, мінералоутворенням, перекристалізацією індивідів і агрегатів первинних мінералів магнетитових кварцитів (магнетиту, гематиту (залізної слюдки), кварцу) та псевдоморфізацією кумінгтоніту. Внаслідок цього відбулись зміни розміру та форми кристалів, агрегатів магнетиту й нерудних мінералів, характеру їх контактів, кількісних співвідношень рудоутворювальних і другорядних мінералів.

Таким чином, метасоматоз спричинив зміни мінералогічних показників руд, які визначальним чином впливають на їх збагачуваність.

Протягом останніх років проявилась тенденція зростання вимог металургійних підприємств до якості залізородного концентрату. У зв'язку з цим актуальності на-

були детальні мінералогічні дослідження руд, у тому числі рибекітових метасоматитів для забезпечення більш чіткого оконтурення рудних покладів різного мінерального складу, різної збагачуваності, оптимізації технологій усереднення руд перед подачею на збагачувальні фабрики та їх збагачення, підвищення якості одержуваного концентрату.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Натрієві метасоматити, в тому числі їх рибекітові різновиди, були об'єктом численних геологічних, петрологічних, мінералогічних, геохімічних, металогенічних досліджень [1–9, 12–13]. Рибекітові метасоматити не виокремлювались у самостійний об'єкт вивчення, розглядались спільно з егіриновими, альбітовими метасоматитами як один з компонентів метасоматичних тіл. У роботах мінералого-технологічного спрямування розглядались показники збагачення рибекіт- та егіриновмісних магнетитових руд [10, 14], методи мінералогічного та технологічного картування залізородних метасоматитів [2, 8, 13]. Протягом останніх років у процесі експлуатації родовищ з'ясувалось, що серед натрієвих метасоматитів найбільш поширені рибекітові: вони становлять близько 90 % від загальної маси натрієвих метасоматитів продуктивних товщ родовищ. Через відносно слабе мінералого-технологічне вивчення саме рибекітових метасоматитів виявились недостатньо дослідженими тренди зміни мінералогічних показників і

параметрів збагачуваності бідних магнетитових руд, які зазнали рибекітизації різної інтенсивності.

Метою авторів було визначення закономірностей зміни хімічного, мінерального складу та збагачуваності магнетитових кварцитів залежно від інтенсивності їх рибекітизації.

Досягненню мети сприяло вирішення таких **завдань**: 1) виявлення в техногенних відслоненнях бортів кар'єрів Первомайського, Ганнівського, Петрівського, Артемівського родовищ тіл рибекітових метасоматитів з повним проявом мінералогічної зональності; 2) детальне опробування рибекітових метасоматитів по мінералогічних зонах у кар'єрі Первомайського родовища, продуктивна товща якого характеризується найбільшим поширенням рибекітових метасоматитів; 3) систематичне дослідження хімічного, мінерального складу метасоматитів та віднесення їх до чотирьох груп руд з різним ступенем рибекітизації; 4) узагальнення одержаних даних і визначення трендів зміни мінералогічних, хімічних, технологічних показників рибекітових метасоматитів за зонами метасоматичних тіл.

Вихідний матеріал та методика досліджень. У збоях Первомайського кар'єру Північного гірничозбагачувального комбінату (ПНГЗКу) були відібрані 227 проб різного складу незмінених магнетитових кварцитів та продуктів їх метасоматичних перетворень. З них були відібрані 47 найбільш представницьких проб, які характеризували первинні магнетитові кварцити, продукти їх метасоматичних змін з різним рівнем рибекітизації: рибекітизовані магнетитові кварцити (вміст рибекіту від 1 до 10 мас.%), рибекіт-магнетитові кварцити (10–30 %), магнетит-рибекітові метасоматити (рибекітити) (30–80 мас.% рибекіту). Близькі до мономінеральних рибекітові метасоматити (вміст рибекіту понад 80 мас.%) серед зразків досліджених порід були відсутні. В продуктивній товщі Первомайського родовища вони зустрічаються рідко – у вигляді малопотужних (до 20 см) метасоматичних прожилків, січних або згідних із шаруватістю первинних магнетитових кварцитів.

Матеріал рядових проб був дроблений до розміру частинок менше 20 мм, усереднений, після чого з нього були відібрані наважки для виконання скорочених хімічних аналізів (лабораторія Державної інспекції ДІЯПруда). Визначався загальний вміст заліза в складі руд ($Fe_{\text{заг}}$) та вміст

заліза, яке входить до складу магнетиту ($Fe_{\text{магн.}}$), – показників, значення яких використовуються на гірничозбагачувальних комбінатах Кривбасу для загальної характеристики якості руд. Вміст Na_2O визначався з метою підтвердження одержаних мінералогічних даних про інтенсивність метасоматичних змін магнетитових кварцитів. З використанням полірованих і прозорих шліфів встановлювалися кількісні співвідношення між рудоутворювальними (магнетит, гематит (залізна слюдка), кварц, кумінгтоніт, рибекіт) та другорядними (егірин, селадоніт, тетраферібіотит, мінесотаїт та ін.) мінералами первинних магнетитових кварцитів і рибекітових метасоматитів. Показники мінерального і хімічного складу дозволяли контролювати вірність віднесення матеріалу досліджених проб до чотирьох виділених різновидів незмінених і метасоматично змінених руд.

Технологічні експерименти проводилися за схемою тристадійного подрібнення і тристадійної "мокрої" магнітної сепарації з кінцевим розміром частинок у продуктах подрібнення менше 0,063 мм. Така схема покладена в основу роботи збагачувальної фабрики ПНГЗКу.

Мінералогічні дослідження та технологічні випробування виконувалися у лабораторіях Криворізького національного університету.

Результати досліджень та їх обговорення. Мінеральні різновиди магнетитових кварцитів і метасоматитів досліджених 47 проб були встановлені за даними підрахунків кількісного співвідношення головних мінералів руд – новоутвореного рибекіту та реліктових магнетиту й кварцу (табл. 1).

Показник інтенсивності метасоматозу – середній вміст Na_2O – в складі первинних магнетитових кварцитів близький до 0. В зонах слабких метасоматичних змін, складених рибекітизованими магнетитовими кварцитами, значення цього параметра зростає до 0,58 мас.%, а в зонах помірних метасоматичних змін – до 1,49 мас.%. Максимальне середнє значення вмісту Na_2O (2,34 мас.%) відповідає ділянкам найбільш інтенсивних метасоматичних перетворень, складених магнетит-рибекітовими метасоматитами (рибекітитами), в яких вміст рибекіту значно перевищує вміст реліктового магнетиту, а метаморфогенний кварц практично відсутній.

Таблиця 1

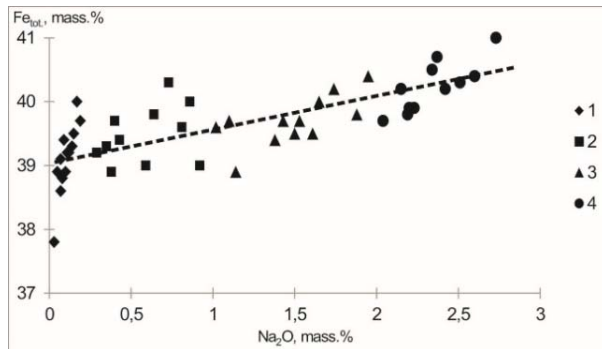
Хімічні й технологічні показники магнетитових кварцитів і їх різною мірою рибекітизованих різновидів

Мінеральні різновиди руд	n	Вміст хімічних компонентів, мас.%			Технологічні параметри				
		$Fe_{\text{заг}}$	$Fe_{\text{магн.}}$	Na_2O	β	γ	ϵ	ϑ	$\vartheta_{\text{магн.}}$
кварцити магнетитові (метасоматично незмінні)	13	39,11	34,85	0,11	66,87	52,82	90,3	8,04	2,4
кварцити магнетитові рибекітизовані	11	39,47	32,2	0,58	67,26	50,66	86,31	10,87	1,82
кварцити рибекіт-магнетитові	12	39,7	30,07	1,49	67,91	45,45	77,75	16,15	1,48
метасоматити магнетит-рибекітові (рибекітити)	11	40,24	27,65	2,34	68,97	40,27	69,03	20,79	0,89

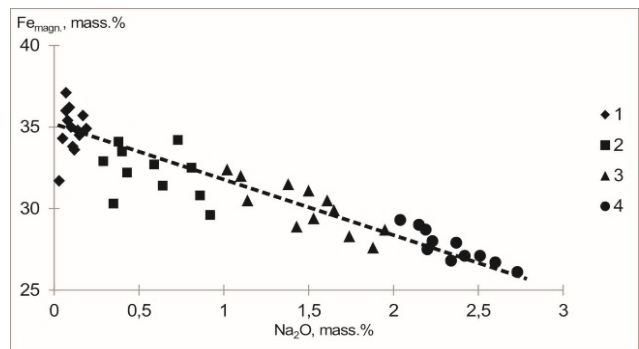
Показники: n – кількість мінералого-технологічних експериментів; $Fe_{\text{заг}}$ – загальний вміст заліза, мас.%; $Fe_{\text{магн.}}$ – вміст заліза в складі магнетиту; β – вміст заліза в складі одержаного концентрату, мас.%; γ – вихід концентрату, %; ϵ – вилучення заліза до концентрату, %; ϑ – вміст заліза в складі відходів збагачення (хвостів), мас.%; $\vartheta_{\text{магн.}}$ – вміст у відходах збагачення заліза, яке входить до складу магнетиту, мас.%.

Підвищення інтенсивності метасоматозу спричинило помітне зростання загального вмісту заліза від первинних магнетитових кварцитів до магнетит-рибекітових метасоматитів (табл. 1, рис. 1, а) через часткове винесення кремнезему лужними розчинами [3, 5]. Вміст заліза у складі магнетиту в цьому ж напрямку закономірно зменшується (табл. 1, рис. 1, б) через часткове заміщення магнетиту рибекітом.

Технологічні експерименти проводилися для об'єднаних проб чотирьох виділених мінеральних різновидів руд. Ці проби були скомпоновані з наважок матеріалу кожної з 47 рядових проб. Після ретельного усереднення матеріал чотирьох технологічних проб був направлений на виконання технологічних досліджень. Рудопідготовка полягала в тристадійному подрібненні вихідного матеріалу з крупністю частинок 0–20 мм до кінцевої крупності 0–0,063 мм.



а

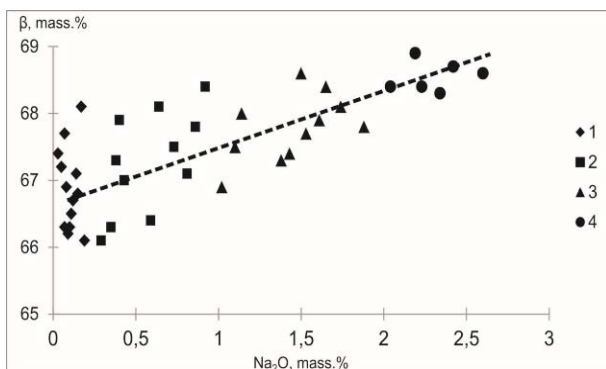


б

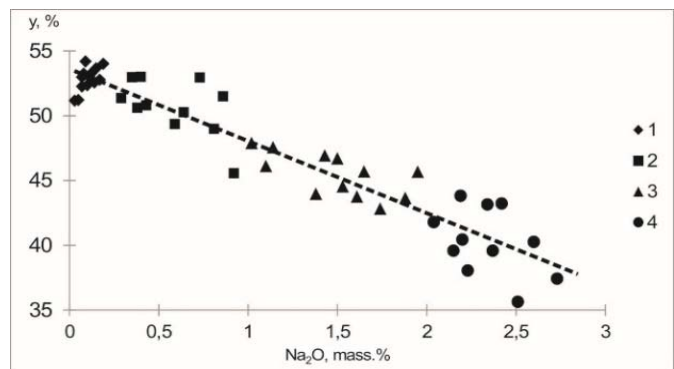
Рис. 1. Характер зміни загального вмісту заліза (а) та вмісту заліза у складі магнетиту (б) залежно від інтенсивності рибекітизації первинних магнетитових кварцитів
(позначення технологічних показників див. підпис до табл. 1)

Головним технологічним параметром, за яким визначається ефективність збагачення руд і якість одержуваного концентрату, є загальний вміст заліза в його складі β . З табл. 1 і рис. 2, а видно, що наростання інтенсивності рибекітизації, показником якої є збільшення вмісту Na_2O у складі метасоматитів, значення β поступово і закономірно зростає. Мікроскопічні дослідження різною мірою метасоматизованих руд свідчать, що головною причиною цього є поступове вдосконалення морфології виділень магнетиту. Рибекітизація супроводжувалась розчиненням і метасоматичним заміщенням рибекітом їх периферійних зон, які зазвичай характеризуються складними контурами. Метасоматична рибекітизація у цьому сенсі мала

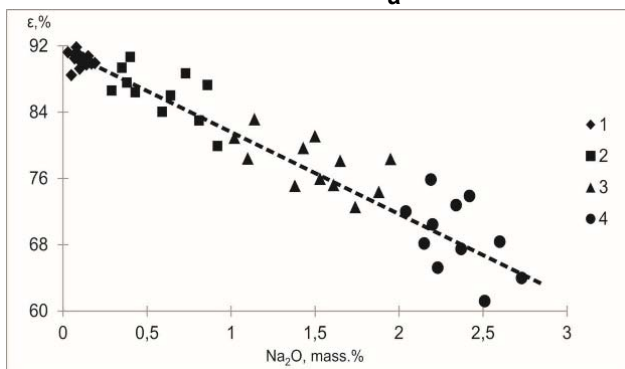
два наслідки: спрощення контурів форми кристалів магнетиту і утворення епітаксialних поверхонь їх зростання з кристалами рибекіту, по яких розділення мінералів відбувається більш ефективно порівняно з розділенням по синтаксialних поверхнях зростання виділень магнетиту і кварцу. Більш ефективне розкриття виділень магнетиту зумовлює зменшення потрапляння частинок нерудних мінералів до концентрату і, як наслідок, підвищення його якісних показників. Цьому сприяє також зменшення кількості дрібних (зазвичай, менше 0,05 мм) пойкилобластів магнетиту в кристалах і агрегатах кварцу, які також першочергово заміщувались рибекітом [11].



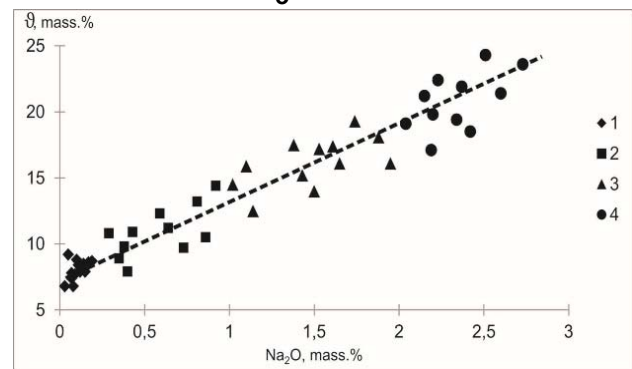
а



б



в



г

Рис. 2. Закономірності зміни технологічних показників збагачення бідних магнетитових руд Первомайського родовища в зв'язку з їх рибекітизацією
(позначення технологічних показників див. підпис до табл. 1)

Негативом рибекітизації є погіршення, у зв'язку з наростанням її інтенсивності, трьох інших технологічних показників бідних магнетитових руд родовища: виходу концентрату, вилучення заліза до його складу та вмісту заліза у складі відходів збагачення (хвостів) (рис. 2, б, в, г). Зни-

ження виходу концентрату пов'язане із зменшенням вмісту у складі руд магнетиту (табл. 1) через його часткове заміщення рибекітом. Цим же зумовлене зниження показника вилучення заліза до концентрату: до його складу потрапляє залізо магнетиту, залізо ж у складі рибекіту видаляється до відходів збагачення. Останнє пояснює також

значне зростання (від 8,04 до 20,79) загального вмісту заліза у складі хвостів. У той же час дані хімічних аналізів (табл. 1) і результати мікроскопічних досліджень показують, що при збагаченні руд, які складають зони метасоматичних тіл від незмінених магнетитових кварцитів до рибекітитів, утворюються відходи збагачення зі все меншим вмістом магнетиту. Це пов'язане із зазначеним вище вдосконаленням морфології виділень магнетиту та заміщенням рибекітом дрібних виділень магнетиту.

Таким чином, рибекітизація магнетитових кварцитів Первомайського родовища у мінерало-технологічному відношенні характеризується контраверсійністю. З одного боку, вона супроводжувалась зростанням якості кінцевого корисного продукту, з другого – зменшенням кількісних показників збагачення магнетитових руд, у першу чергу виходу концентрату і пов'язаного з ним вилученням заліза до концентрату. Але оскільки головним показником ефективності технологічного процесу є вміст заліза у складі концентрату, в цілому рибекітизацію можна розглядати як процес, що сприяв поліпшенню збагачуваності бідних магнетитових руд родовища.

Висновки. 1. Рибекітизація активно проявлена у залізистих горизонтах саксаганської світи Криворізького басейну. Продуктивні товщі Первомайського, Ганнівського, Петрівського, Артемівського родовищ більш ніж на 50 % складені рибекітовими метасоматитами та рибекітованими магнетитовими кварцитами. Найактивніше рибекітизація магнетитових кварцитів проявлена в продуктивній товщі Первомайського родовища.

2. Мінералогічні зміни магнетитових кварцитів, які супроводжували наростання їх рибекітизації, спричинили значні зміни показників збагачення руд: зростання вмісту заліза у складі одержуваного концентрату та помітне зменшення виходу концентрату, вилучення заліза до його складу, а також суттєве підвищення загального вмісту заліза у складі відходів збагачення.

3. Оскільки ефективність збагачення бідних магнетитових руд оцінюється за загальним вмістом заліза у складі одержуваного концентрату, рибекітизація позитивно вплинула на їх збагачуваність.

Список використаних джерел

1. Александров И.В. Натровый метасоматоз в Криворожье / И. В. Александров // Геохимия щелочного метасоматоза. – М. : Изд. АН СССР, 1963. – С. 71–151.
2. Евтехов В.Д. Особенности минерало-технологического картирования месторождений в метасоматически измененных железистых кварцитах (на примере Кривбасса) / В. Д. Евтехов // Онтогенез минералов и технологическая минералогия. – Киев : Наук. думка, 1988. – С. 82–92.
3. Елисеев Н.А. Метасоматиты Криворожского рудного пояса / Н. А. Елисеев, А. П. Никольский, В. Г. Кушев // Труды Лаборатории геологии докембрия АН СССР. – М.; Л. : Изд. АН СССР, 1961. – Вып. 13. – С. 204.
4. Железисто-кремнистые формации докембрия европейской части СССР. Минералогия / Б. И. Пирогов, Ю. Н. Стебновская, В. Д. Евтехов и др. – Киев : Наук. думка, 1989. – 169 с.
5. Зональность натриевых метасоматитов в железистых кварцитах Северного Криворожья / В. Д. Евтехов, Г. П. Зарайский, В. Н. Балашов и др. // Очерки физико-химической петрологии. – М. : Наука, 1988. – № 15. – С. 17–37.
6. Кушев В.Г. Щелочные метасоматиты докембрия / В. Г. Кушев. – Л. : Недра, 1972. – 190 с.

7. Минералогия Криворожского бассейна / Е. К. Лазаренко, Ю. Г. Гершойг, Н. И. Бучинская и др. – Киев : Наук. думка, 1977. – 544 с.
8. Минерало-технологическое картирование железорудных месторождений Северного Криворожья / Б. И. Пирогов, В. Д. Евтехов, Д. Н. Кондратьева и др. // Горный журн. – 1980. – № 10. – С. 12–15.
9. Никольский А.П. Натриевые гидротермальные метасоматиты юго-западной части Русской платформы / А. П. Никольский // Геолог. журн. – 1973. – № 2. – С. 31–44.
10. Пирогов Б.И. Геолого-минералогические факторы определяющие обогатимость железистых кварцитов / Б. И. Пирогов. – М. : Недра, 1969. – 240 с.
11. Стрельцов В.О. Вплив рибекітизації на збагачуваність магнетитових руд Первомайського родовища Криворізького басейну / В. О. Стрельцов, А. В. Євтехова, Є. В. Євтехов // 36. тез доп. Міжнар. наук.-техн. конф.: Сталій розвиток промисловості та суспільства. – Кривий Пир, 2014. – С. 12–16.
12. Стрельцов В.О. Локалізація рибекітових метасоматитів у продуктивних товщах залізорудних родовищ Криворізького басейну / В. О. Стрельцов, В. Д. Євтехов // Геол.-мінералог. вісн. Криворізь. нац. ун-ту. – 2016. – № 1 (35). – С. 111–120.
13. Стрельцов В.О. Деякі особливості мінералогічної зональності залізорудних рибекітових метасоматитів Криворізького басейну / В. О. Стрельцов, В. Д. Євтехов, А. В. Євтехова // Вісн. Київ. нац. ун-ту. Геологія. – 2017. – № 1. – С. 52–57.
14. Технологическая минералогия железных руд / Б. И. Пирогов, Г. С. Порохов, И. В. Холошин и др. – Л. : Наука, 1988. – 302 с.

References

1. Aleksandrov, I.V. (1963). Sodium metasomatism in Krivorozyhe. Geochemistry of alkali metasomatism. Moscow: Publishing house of USSR Academy of sciences, 71-151. [In Russian].
2. Evtekhov, V.D. (1988). Features of mineralogical and technological mapping of deposits in metasomatically altered ferruginous quartzites (at the example of Kryvbas). Mineral ontogeny and technological mineralogy. Kiev: Naukova dumka, 82-92. [In Russian].
3. Eliseyev, N.A., Nikolskiy, A.P., Kushev, V.G. (1961). Metasomatites of Krivoy Rog ore belt. Proceedings of the Laboratory of Precambrian geology of USSR Academy of Sciences. Moscow-Leningrad: Publishing house of USSR Academy of sciences, 13, 204 p. [In Russian].
4. Pirogov, B.I., Stebnovskaya, Yu.M., Evtekhov, V.D. et al. (1989). Precambrian banded iron formations of the European part of the USSR. Mineralogy. Kiev: Naukova dumka, 168 p. [In Russian].
5. Evtekhov, V.D., Zarayskiy, G.P., Balashov, V.N., Valeyev, O.K. (1988). Zoning of sodium metasomatites in ferruginous quartzites of the Northern Krivorozyhe. Physicochemical petrology essays. Moscow: Nauka, 15, 17-37. [In Russian].
6. Kushev, V.G. (1972). Alkaline metasomatites of the Precambrian. Leningrad: Nedra, 190 p. [In Russian].
7. Lazarenko, E.K., Gershoig, Yu.G., Buchinskaya, N.I. et al. (1977). Mineralogy of the Kryvyi Rih basin. Kyiv: Naukova Dumka, 544 p. [In Russian].
8. Pirogov, B.I., Evtekhov, V.D., Kondratieva, D.N. et al. (1980). Mineralogical and technological mapping of iron ore deposits in the North Krivorozyhe. Mining Journal, 10, 12-15. [In Russian].
9. Nikolskiy, A.P. (1973). Sodium hydrothermal metasomatites of southwestern part of the Russian platform. Geological journal, 2, 31-44. [In Russian].
10. Pirogov, B.I. (1969). Geological and mineralogical factors determining ferruginous quartzites dressability. Moscow: Nedra, 240 p. [In Russian].
11. Streltsov, V.O., Evtekhova, A.V., Evtekhov, V.D. (2014). Riebeckitization influence on dressability of magnetite ore from Pervomayske deposit in the Kryvyi Rih basin. Abstracts of International scientific-technical conference: Sustainable development of industry and society. Kryvyi Rih, 12-16. [In Ukrainian].
12. Streltsov, V.O., Evtekhov, V.D. (2016). Localization of riebeckite metasomatites at productive rock masses of iron ore deposits in Kryvyi Rih basin. Geological and mineralogical bulletin of Kryvyi Rih national university, 1 (35). 111-120. [In Ukrainian].
13. Streltsov, V.O., Evtekhov, V.D., Evtekhova, A.V. (2017). Some peculiarities of mineralogical zonality of iron ore riebeckitic metasomatites of Kryvyi Rih basin. Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology, 1, 52-57 [In Ukrainian].
14. Pirogov, B.I., Porotov, G.S., Holoshin, I.V., Tarasenko, V.N. (1988). Technological mineralogy of iron ores. Leningrad: Nauka, 302 p. [In Russian].

Надійшла до редколегії 09.10.17

V. Streltsov, Geological engineer
E-mail: misterstrelcov90@gmail.com
Ingulets Iron Ore Mining and Processing Works
47 Rudnaya Str., Kryvyi Rih, 50002, Ukraine
V. Evtekhov, Dr. Sci. (Geol.), Prof.
E-mail: evtekhov@gmail.com
A. Evtekhova, PhD (Geol.), Assoc. Prof.
E-mail: eva_anna@mail.ru
M. Shepelyuk, PhD student
E-mail: m.shepeluk@gmail.com
The State Institution of Higher Education "Kryvyi Rih National University"
11 V. Matuskevych Str., Kryvyi Rih, 50002, Ukraine

TECHNOLOGICAL MINERALOGY OF IRON ORE RIEBECKITE METASOMATITES OF KRYVYI RIH BASIN

Riebeckite metasomatites belong to the widespread varieties of low-grade magnetite ores of Pervomaiske, Hannivske, Petrivske, Artemivske and some other deposits of Kryvyi Rih basin. Riebeckitization of magnetite quartzites was accompanied by changes in the size, shape of crystals and aggregates of magnetite and nonmetallic minerals, their contact nature, and the quantitative relationships of ore-forming and secondary minerals. Thus, metasomatism has caused changes in mineralogical indexes of ores, which have a decisive influence on ore preparation characteristics.

The main index of metasomatism intensity is the average Na_2O content in the primary magnetite quartzites which is close to 0; in the zones of weak metasomatic changes represented by riebeckitized magnetite quartzites, its value increases up to 0.58 mass.%; in zones of moderate metasomatic changes (riebeckite-magnetite quartzites) it is up to 1.49 mass.%; in the zones of the most intensive metasomatic transformations, composed of magnetite-riebeckite metasomatites (riebeckitites) it is up to 2.34 mass.%.

The increase in metasomatism intensity has caused a noticeable increase in the total iron content in magnetite-riebeckite metasomatites compared with the initial magnetite quartzites due to the partial removal of silica by alkaline solutions. The iron content, which is a part of magnetite, decreases in the same way due to the partial substitution of magnetite by riebeckite.

The main technological parameter, which determines the efficiency of ore processing, is the total iron content in the concentrate produced. The value of this index gradually and regularly grows from unaltered magnetite quartzites to riebeckitites. The reason is that an increase in riebeckitization activity contributed to the approximation of magnetite individual forms to crystallographically perfect ones. The consequence of this is the improvement in magnetite crystals and aggregates release when grinding ores, the reduction in nonmetallic minerals entrainment in the concentrate in aggregates composition.

Negative consequence of riebeckitization consists in deterioration of the three other technological indexes of low-grade magnetite ores. They are: concentrate yield, iron extraction, and iron content in concentration waste (tailings). The reduction in the concentrate yield is associated with a decrease of magnetite content in ores due to its partial replacement with riebeckite. The decrease in the index of the iron recovery into the concentrate is due to the same fact: it receives iron from magnetite, while riebeckite iron is removed to the concentration waste. This explains the significant increase (from 8.04 to 20.79 mass.%) of the total iron content in tailings.

Thus, the riebeckitization of magnetite quartzites is characterized by a contrariety in terms of the mineralogical-technological relation. On the one hand, it was accompanied by the increase in concentrate quality, on the other hand by a decrease in concentrate yield and iron recovery into concentrate. The iron content of the concentrate being the main indicator for technological process efficiency, in general, riebeckitization can be considered to be a process that contributed to improving the processing of low-grade magnetite ores.

Keywords: banded iron formation, Kryvyi Rih basin, magnetite ores, sodium metasomatism, mineral composition, chemical composition, ore preparation characteristics.

В. Стрельцов, инженер-геолог
E-mail: misterstrelcov90@gmail.com
Ингулецкий горно-обогатительный комбинат
ул. Рудная, 47, г. Кривой Рог, 50002, Украина
В. Евтехов, д-р геол. наук, проф.
E-mail: evtekhov@gmail.com
А. Евтехова, канд. геол. наук, доц.
E-mail: eva_anna@mail.ru
М. Шепелюк, асп.
E-mail: m.shepeluk@gmail.com
Государственное высшее учебное заведение "Криворожский национальный университет"
ул. В. Матусевича, 11, г. Кривой Рог, 50002, Украина

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МИНЕРАЛОГИЯ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ РИБЕКИТОВЫХ МЕТАСОМАТИТОВ КРИВОРОЖСКОГО БАСЕЙНА

Рибекитовые метасоматиты относятся к распространенным разновидностям бедных магнетитовых руд Первомайского, Анновского, Петровского, Артемевского и некоторых других месторождений Криворожского бассейна. Рибекитизация магнетитовых кварцитов сопровождалась изменением размера, формы кристаллов и агрегатов магнетита и нерудных минералов, характера их контактов, количественных соотношений рудообразующих и второстепенных минералов. Таким образом, метасоматоз стал причиной изменения минералогических показателей руд, которые определяющим образом влияют на их обогатимость. Основным показателем интенсивности метасоматоза – среднее содержание Na_2O в составе первичных магнетитовых кварцитов – близко к 0; в зонах слабых метасоматических изменений, представленных рибекитизированными магнетитовыми кварцитами, его значение возрастает до 0,58 масс.%; в зонах умеренных метасоматических изменений (рибекит-магнетитовые кварциты) – до 1,49 масс.%; в зонах наиболее интенсивных метасоматических преобразований, сложенных магнетит-рибекитовыми метасоматитами (рибекититами), – до 2,34 масс.%.

Повышение интенсивности метасоматоза стало причиной заметного возрастания общего содержания железа в магнетит-рибекитовых метасоматитах по сравнению с исходными магнетитовыми кварцитами в связи с частичным выносом кремнезема щелочными растворами. Содержание железа, которое входит в состав магнетита, в этом же направлении закономерно уменьшается из-за частичного замещения магнетита рибекитом.

Главный технологический параметр, по которому определяется эффективность обогащения руд, – общее содержание железа в составе производимого концентрата. От неизменных магнетитовых кварцитов до рибекититов значение этого показателя постепенно и закономерно растет. Причина заключается в том, что повышение активности рибекитизации способствовало приближению формы индивидов магнетита к кристаллографически совершенным. Следствием этого является улучшение раскрытия кристаллов и агрегатов магнетита при измельчении руд, уменьшение вовлечения нерудных минералов в концентрат в составе хвостов.

Негативе рибекитизации – ухудшение трех других технологических показателей бедных магнетитовых руд: выхода концентрата, извлечения железа в его состав и содержания железа в составе отходов обогащения (хвостов). Снижение выхода концентрата связано с уменьшением содержания в составе руд магнетита из-за его частичного замещения рибекитом. Этим же обусловлено снижение показателя извлечения железа в концентрат: в его состав поступает железо магнетита, железо же в составе рибекита удаляется в отходы обогащения. Последнее объясняет значительный рост (от 8,04 до 20,79 масс.%) общего содержания железа в составе хвостов.

Таким образом, рибекитизация магнетитовых кварцитов в минералого-технологическом отношении характеризуется контраверсностью. С одной стороны, она сопровождалась ростом качества концентрата, с другой – уменьшением выхода концентрата и извлечения железа в концентрат. Поскольку главным показателем эффективности технологического процесса является содержание железа в составе концентрата, в целом рибекитизацию можно рассматривать как процесс, который способствовал улучшению обогатимости бедных магнетитовых руд.

Ключевые слова: железисто-кремнистая формация, Криворожский бассейн, магнетитовые руды, натриевый метасоматоз, минеральный состав, химический состав, обогатимость руд.