

<https://doi.org/10.15407/mineraljournal.40.02.027>

УДК 549.643.32 : 553.31 (477.63)

**В.О. Стрельцов<sup>1,2</sup>, В.Д. Євтехов<sup>2</sup>, А.В. Євтехова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Інгулецький гірничозбагачувальний комбінат  
50002, м. Кривий Ріг, Україна, вул. Рудна, 47  
E-mail: misterstrelcov90@gmail.com

<sup>2</sup> Державний вищий навчальний заклад  
"Криворізький національний університет"  
50002, м. Кривий Ріг, Україна, вул. Віталія Матусевича, 11  
E-mail: evtekhov@gmail.com, eva.anna23@gmail.com

## ЗАКОНОМІРНОСТІ ЗМІНИ МІНЕРАЛЬНОГО СКЛАДУ МАГНЕТИТОВИХ КВАРЦИТІВ КРИВОРІЗЬКОГО БАСЕЙНУ В ЗВ'ЯЗКУ З РИБЕКІТИЗАЦІЄЮ

Викладено результати мінералогічного вивчення різною мірою рибекітизованих бідних магнетитових руд (магнетитових кварцитів) Криворізького басейну. Руди, перетворені внаслідок натрієвого метасоматозу, складають більше половини загальної маси продуктивних товщ Первомайського, Ганнівського, Петрівського, Артемівського родовищ, представлені також у продуктивних товщах Інгулецького, Валявкінського та інших родовищ Кривбасу. Найпоширеніший різновид натрієвих метасоматитів — рибекітові, кількість яких становить близько 90 % від загального вмісту натрієвих метасоматитів у складі продуктивних товщ. З наростанням інтенсивності рибекітизації закономірно змінювався вміст хімічних компонентів у складі магнетитових руд. Результати петрохімічних досліджень рибекітових метасоматитів Первомайського родовища показали, що від первинних магнетитових кварцитів через проміжні зони (рибекітвмісні магнетитові кварцити та рибекіт-магнетитові кварцити) до магнетит-рибекітових метасоматитів (рибекітитів) поступово зростає вміст  $\text{Na}_2\text{O}$  (в середньому від 0,11 до 2,34 мас. %),  $\text{Fe}_{\text{заг}}$  (від 39,11 до 40,24),  $\text{Fe}_{\text{сил}}$  (від 0,58 до 12,08),  $\text{Fe}_{\text{сульф}}$  (від 0,12 до 0,18) і зменшується вміст  $\text{SiO}_2$  (від 39,65 до 37,23),  $\text{Fe}_{\text{магн}}$  (від 34,85 до 27,65),  $\text{Fe}_{\text{тем}}$  (від 3,34 до 0,24),  $\text{Fe}_{\text{карб}}$  (від 0,22 до 0,09 мас. %). Рибекітизація магнетитових кварцитів супроводжувалась значними змінами їх мінерального складу: кількість магнетиту внаслідок часткового заміщення рибекітом зменшилась майже на 10 мас. %. Ще значнішим було зниження вмісту кварцу — від 43,33 до 3,16 мас. %. Відбулось також практично повне заміщення рибекітом гематиту. Кумінгтоніт зазнав псевдоморфізації магнезіорибекітом. З рибекітизацією було пов'язане утворення низки другорядних натрій- і калійвмісних мінералів: егірину, а також тетраферібіотиту, селадоніту, які, зазвичай, виповнюють січні прожилки в рибекітових метасоматитах. Результати мінералогічного дослідження рибекітових метасоматитів є основою вдосконалення методів геологічного, мінералогічного, технологічного картування родовищ, корегування мінерало-технологічних класифікацій руд, оптимізації методів усереднення руд перед подачею на збагачувальні фабрики, прогнозування якісних показників магнетитового концентрату.

*Ключові слова:* залізо-кремниста формація, Криворізький басейн, рибекітові метасоматити, петрохімія, мінералогія.

**Актуальність дослідження.** Протягом останніх років через високу конкуренцію на світовому ринку залізородного концентрату зростають вимоги до його якісних характеристик. Основною сировиною для виробництва концентрату є бідні магнетитові руди, головним чином, магнетитові кварцити докембрійської залізо-

то-кремнистої формації [7–9]. Для них характерна висока варіативність мінералогічних показників, спричинена умовами сингенетичних процесів седиментації й динамотермального метаморфізму, та епігенетичних — тектогенезу, натрієвого метасоматозу, гіпергенезу та ін. Розробка заходів, спрямованих на підвищення ефективності видобутку, усереднення, збагачення руд, повинна ґрунтуватись на врахуван-

© В.О. СТРЕЛЬЦОВ, В.Д. ЄВТЕХОВ, А.В. ЄВТЕХОВА, 2018

ні впливу геологічних процесів на їх мінеральний і хімічний склад, структуру, текстуру, тобто на мінералогічні характеристики, які визначають технічні й технологічні параметри руд.

Один із епігенетичних процесів — натрієвий метасоматоз — локально спричинив суттєві мінералогічні зміни залізистих кварцитів [1—6, 10—12]. Його продуктами є егіринові, рибекітові та альбітові метасоматити, які значно відрізняються за складом і будовою від первинних залізистих порід.

Криворізький басейн — один із регіонів планетарного масштабу, в межах яких натрієвий метасоматоз був проявлений дуже активно. Метасоматично перетворені руди складають понад 50 % загальної маси продуктивних товщ Первомайського, Ганнівського, Петрівського, Артемівського родовищ. У складі продуктивних товщ Інгулецького, Валявкінського та деяких інших родовищ басейну вміст натрієвих метасоматитів становить 10—20 мас. %. Найпоширеніший різновид натрієвих метасоматитів Кривбасу — рибекітові, на які припадає близько 90 % загального вмісту метасоматитів у складі продуктивних товщ.

У зв'язку з цим поглиблене мінералогічне дослідження різною мірою рибекітизованих магнетитових кварцитів є актуальним: на його результатах мають ґрунтуватись заходи, спрямовані на оптимізацію мінералогічних, технічних і технологічних класифікацій руд, методів геологічного, мінералогічного й технологічного картування родовищ, технологій усереднення руд перед надходженням на збагачувальні фабрики, прогнозування якісних показників магнетитового концентрату.

**Аналіз результатів попередніх робіт.** Рибекітові метасоматити були об'єктом численних попередніх досліджень, спрямованих на визначення їх генезису; локалізації метасоматичних тіл у родовищах залізисто-кремнистої формації докембрію (від планетарного до локального рівня); мінерального та хімічного складу рибекітових метасоматитів; їх збагачуваності [1—13]. Визначено, що утворення рибекітових метасоматитів Криворізького басейну пов'язано з впливом вуглекисло-натрієвих розчинів на вихідні магнетитові кварцити, та/або з динамотермальним метаморфізмом натрій-залізисто-кремнистих евапоритів.

Локалізацію зон рибекітизації визначають два важливі чинники — тектонічний і стратиграфічний. Виявлено, що метасоматичні тіла

найбільш поширені поблизу великих розривних порушень, та просторово тяжіють до залізистих горизонтів саксаганської світи. Максимальна кількість рибекітових метасоматитів зафіксована в центральних частинах залізистих горизонтів; у напрямку до периферії вміст їх суттєво зменшується.

Досить детально вивчено особливості хімічного складу рибекіту залежно від складу первинних залізистих порід та інтенсивності їх метасоматичних перетворень. Були встановлені також закономірності зміни оптичних і щільнісних показників мінералу.

Головними напрямками прикладних мінералогічних досліджень рибекітових метасоматитів стало визначення показників їх збагачуваності і розробка методів мінералогічного та технологічного картування їхніх покладів.

Натрієві метасоматити інші дослідники раніше розглядали без урахування поширення окремих різновидів. Приблизно однаково увагу приділяли егіриновим, альбітовим, рибекітовим метасоматитам як мінералогічним, петрологічним феноменам у складі залізисто-кремнистої формації. У процесі експлуатації родовищ було з'ясовано, що егіринові метасоматити є досить рідкісними — їх кількість не перевищує 10 мас. % від загальної кількості натрієвих метасоматитів, а для деяких родовищ (Інгулецьке, Валявкінське) вони взагалі не характерні. Альбітові метасоматити присутні переважно в розрізах сланцевих горизонтів, які не входять до складу продуктивних товщ родовищ. Найпоширеніший різновид метасоматитів — рибекітові — виявились недостатньо вивченими для всебічної, в тому числі мінералогічної оцінки їх як залізородної сировини.

**Метою** цієї публікації було уточнення уявлень про мінеральний склад різною мірою рибекітизованих магнетитових кварцитів за результатами власних спостережень та з урахуванням опублікованих даних інших дослідників.

**Вихідний матеріал і методика досліджень.** Для дослідження використано літературні та фондові матеріали Криворізького національного університету та геологічних служб гірничозбагачувальних комбінатів Кривбасу. Залучено відомості про хімічний та мінеральний склад, структуру й текстуру первинних магнетитових кварцитів і рибекітових метасоматитів, особливості морфології та локалізації їхніх покладів. Додатково нами відібрано 227 проб натріє-

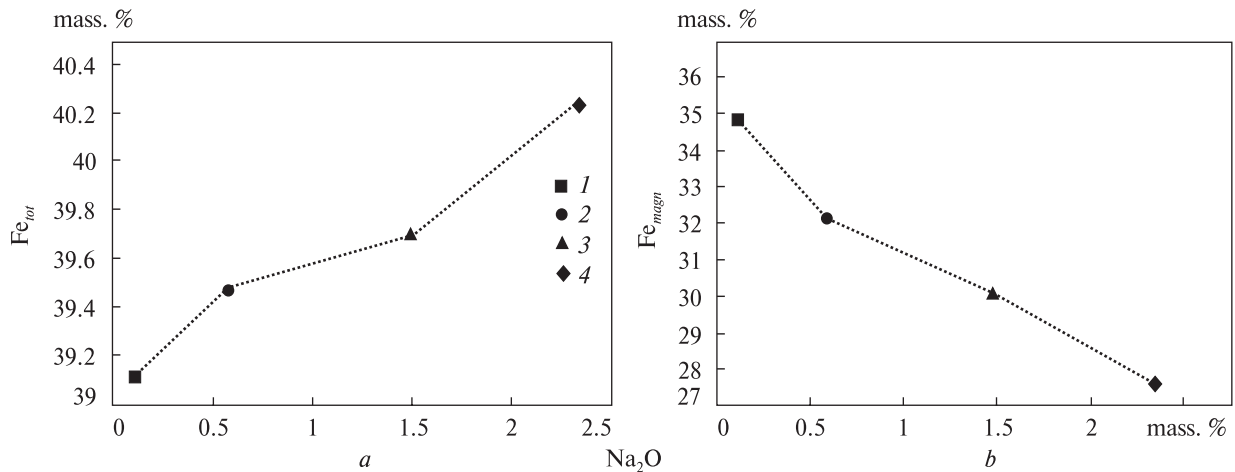


Рис. 1. Зміна показників загального вмісту заліза (а) та вмісту заліза в складі магнетиту (b) зі зростанням інтенсивності рибекітизації вихідних магнетитових кварцитів. Мінеральні різновиди руд: 1 — кварцити магнетитові, 2 — кварцити магнетитові рибекітизовані, 3 — кварцити рибекіт-магнетитові, 4 — метасоматити магнетит-рибекітові (рибекітити)

Fig. 1. Change in the index of total iron content (a) and iron content in magnetite (b) with increasing intensity of riebeckitization of the primary magnetite quartzites. Mineral varieties of ores: 1 — magnetite quartzites, 2 — riebeckitized magnetite quartzites, 3 — riebeckite-magnetite quartzites, 4 — magnetite-riebeckite metasomatites (riebeckitites)

вих метасоматитів і прилеглих до метасоматичних тіл первинних магнетитових кварцитів. Виготовлено понад 500 прозорих і полірованих шліфів. Діагностику мінералів і визначення мінеральних різновидів рибекітових метасоматитів виконано з використанням петрографічних і мінераграфічних мікроскопів. Для ідентифікації деяких мінералів (селадоніт, мінесотіт (залізистий тальк), сепіоліт, палигорськіт та ін.) застосовано метод рентгеноструктурного аналізу.

Для оцінки якості залізорудної сировини в практичній роботі геологічних служб гірничозбагачувальних комбінатів використовують показники вмісту в складі руд головних ( $Fe_{заг}$ ,  $Fe_{магн}$ ) та другорядних ( $Fe_{гем}$ ,  $Fe_{карб}$ ,  $Fe_{сил}$ ,

$Fe_{сульф}$ ) мінерало-петрохімічних компонентів. З метою визначення впливу інтенсивності рибекітизації на значення цих параметрів автори з матеріалу згаданих вище 227 проб відібрали 47 найбільш представницьких проб вихідних магнетитових кварцитів та їх різною мірою рибекітизованих різновидів. Для матеріалу цих проб було визначено показники вмісту  $Fe_{заг}$ ,  $Fe_{магн}$ , а також  $Na_2O$  та  $SiO_2$ . Перші два показники характеризують загальну якість первинних магнетитових кварцитів і утворених за їх рахунок рибекітових метасоматитів. Значення вмісту  $Na_2O$  характеризує інтенсивність рибекітизації руд, а вмісту  $SiO_2$  — активність супровідного винесення лужними розчинами кремнезему.

Таблиця 1. Вміст головних і другорядних хімічних компонентів у складі магнетитових кварцитів і продуктів їх рибекітизації, мас. %

Table 1. Content of main and secondary chemical components in magnetite quartzites and products of their riebeckitization, mass. %

Мінеральні різновиди руд	Кількість визначень	$Fe_{заг}$	$Fe_{магн}$	$Fe_{гем}$	$Fe_{карб}$	$Fe_{сил}$	$Fe_{сульф}$	$Na_2O$	$SiO_2$
Кварцити магнетитові	13	39,11	34,85	3,34	0,22	0,58	0,12	0,11	39,65
Кварцити магнетитові рибекітизовані	11	39,47	32,20	2,68	0,17	4,27	0,15	0,58	39,02
Кварцити рибекіт-магнетитові	12	39,70	30,07	0,83	0,14	8,50	0,16	1,49	38,11
Метасоматити магнетит-рибекітові (рибекітити)	11	40,24	27,65	0,24	0,09	12,08	0,18	2,34	37,23

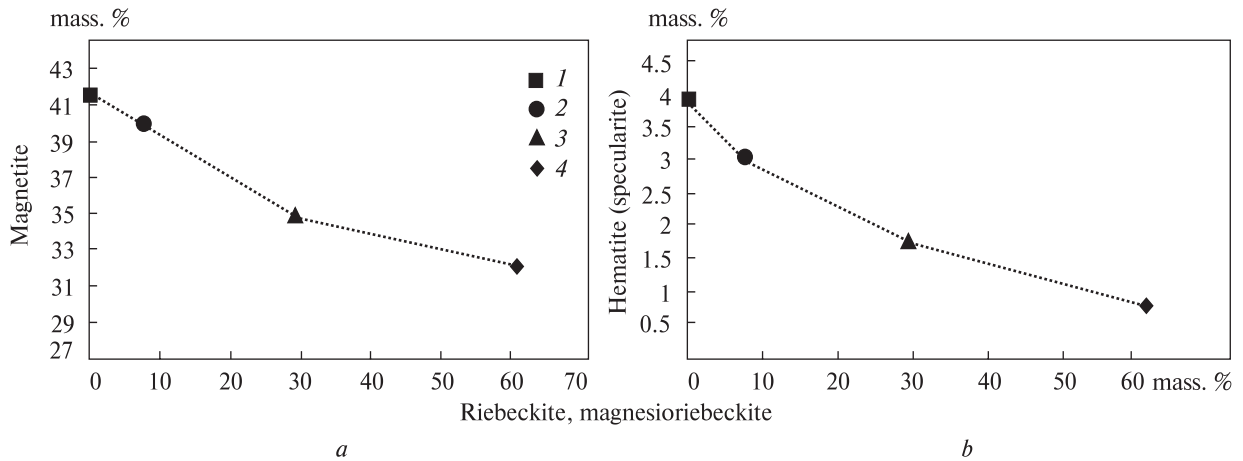


Рис. 2. Особливості зміни вмісту магнетиту (а) і гематиту (б) у зв'язку з рибекітизацією магнетитових кварцитів. Умов. позн. див. рис. 1

Fig. 2. Peculiarities of change in the content of magnetite (a) and hematite (b) in connection with riebeckitization of magnetite quartzites. Symbols see Fig. 1

**Викладення основного матеріалу.** За результатами хімічного аналізу матеріалу 47 проб встановлено, що у зв'язку з рибекітизацією магнетитових кварцитів відбувався поступовий закономірний перерозподіл заліза між різними мінеральними формами (табл. 1, рис. 1).

У попередній роботі [12] відзначено, що на мікроскопічному рівні метасоматичний процес зазвичай розпочинався з контакту рудних та нерудних прошарків первинних магнетитових кварцитів, поступово захоплював спочатку рудні, а потім нерудні. Спостереження під час

Таблиця 2. Вміст породоутворювальних і другорядних мінералів у складі рибекітових метасоматитів і незмінених магнетитових кварцитів Первомайського родовища, мас. %  
Table 2. Content of rock-forming and secondary minerals in riebeckite metasomatites and unchanged magnetite quartzites of Pervomayske deposit, mass. %

Мінерали	Мінеральні різновиди руд			
	1	2	3	4
Магнетит	41,50	40,04	35,01	32,11
Кварц	43,33	40,01	28,26	3,16
Гематит (залізна слюдка)	3,89	3,04	1,81	0,78
Кумінгтоніт	8,97	7,22	3,61	0,06
Біотит	0,19	0,11	0,07	0,00
Рибекіт, магнезюрибекіт	0,00	7,46	29,19	60,78
Егірін	0,00	0,04	0,15	1,42
Тетраферібіотит	0,01	0,02	0,06	0,10
Селадоніт	0,03	0,04	0,04	0,06
Fe-тальк (мінесотаїт)	0,02	0,03	0,02	0,00
Карбонати	0,95	1,07	1,10	0,83
Сульфіди (пірит, піротин)	0,18	0,20	0,22	0,25
Апатит	0,06	0,07	0,09	0,13
Інші мінерали	0,87	0,65	0,37	0,32
Загалом	100,00	100,00	100,00	100,00
Кількість визначень	65	51	69	42

Примітка. Мінеральні різновиди руд: 1 — незмінені магнетитові кварцити, 2 — рибекітизовані магнетитові кварцити, 3 — рибекіт-магнетитові кварцити, 4 — магнетит-рибекітові метасоматити (рибекітити).

Note. Mineral varieties of ores: 1 — magnetite quartzites, 2 — riebeckitized magnetite quartzites, 3 — riebeckite-magnetite quartzites, 4 — magnetite-riebeckite metasomatites (riebeckitites).

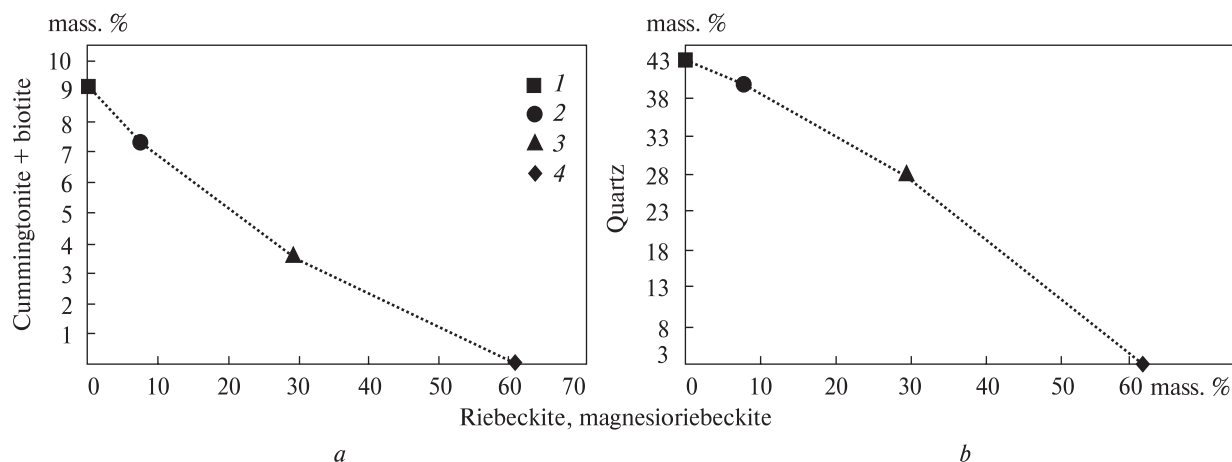


Рис. 3. Особливості зміни вмісту кумінгтоніту, біотиту (а) та кварцу (б) у зв'язку з рибекітизацією магнетитових кварцитів. Умов. позн. див. рис. 1

Fig. 3. Peculiarities of change in the content of cummingtonite, biotite (a) and quartz (b) in connection with riebeckitization of magnetite quartzites. Symbols see Fig. 1

підготовки цієї публікації це підтвердили: у першу чергу заміщення зазнавали кристали й агрегати кварцу та магнетиту периферійних частин рудних прошарків. Заміщення магнетиту підтверджені результатами хімічного аналізу: на початковій стадії рибекітизації магнетитового кварциту часткове заміщення магнетиту рибекітом спричинило зменшення показника вмісту  $Fe_{\text{магн}}$  від 34,85 до 32,20 мас. %. З наростанням інтенсивності процесу значення цього показника зменшувалось до 27,65 мас. % у складі магнетит-рибекітових метасоматитів (рибекітитів).

Вміст заліза, яке входить до складу гематиту ( $Fe_{\text{гем}}$ ), зменшувався інтенсивніше, ніж вміст  $Fe_{\text{магн}}$  — від 3,34 до 0,24 мас. %, тобто майже в 14 разів. Заміщення зазнавала залізна слюдка, присутня у вигляді дрібних лускуватих включень у нерудних прошарках магнетитових кварцитів. У публікації [3] з використанням результатів фізико-хімічних розрахунків це пояснено більшою термодинамічною оптимальністю метасоматичного заміщення гематиту порівняно з заміщенням магнетиту.

$Fe_{\text{карб}}$ , яке в первинних магнетитових кварцитах входило до складу сидериту або сидероплезиту, пістомезиту, в процесі їх рибекітизації переходило до складу рибекіту. За даними мікроскопічних спостережень, кількість карбонатів у складі метасоматитів, порівняно з вихідними магнетитовими кварцитами, практично не змінювалась, але в метасоматитах вони представлені беззалістими видами — кальцитом, доломітом. Через це вміст  $Fe_{\text{карб}}$  у

складі магнетит-рибекітових метасоматитів у 2,5 раза нижчий за відповідний показник первинних магнетитових кварцитів.

Кількість заліза, яке входить до складу сульфідів (головним чином, піриту, меншою мірою піротину), під час рибекітизації магнетитових кварцитів незначно зростала. Вірогідно, це було пов'язано з принесенням деякої кількості сірки вуглекисло-натрієвими метасоматичними розчинами.

Вміст заліза, що входить до складу силікатів — від незмінених магнетитових кварцитів до магнетит-рибекітових метасоматитів — зріс в 20 разів (з 0,58 до 12,08 мас. %) через заміщення магнетиту, гематиту та інших залізо-вмісних мінералів рибекітом.

Вплив високолужного метасоматичного розчину сприяв частковому розчиненню кварцу і переходу кремнезему в мобільну форму. Частина його "витратилась" на утворення рибекіту, інша з "відпрацьованими" метасоматичними розчинами була винесена за межі зон рибекітизації, внаслідок чого утворювались периферійні зони окварцювання метасоматичних тіл [3]. З цим пов'язане поступове зменшення вмісту кремнезему в складі руд — від 39,65 мас. % у незмінених магнетитових кварцитах до 37,23 мас. % у магнетит-рибекітових метасоматитах.

Винесення кремнезему та деяких інших компонентів неповністю компенсувалось принесенням оксиду натрію. Через пов'язану з цим метасоматичну усадку відбувалось підвищення вмісту заліза в складі рибекітових



метасоматитів порівняно з первинними магнетитовими кварцитами — від 39,11 до 40,24 мас. %.

З одержаних даних випливає, що вміст усіх досліджених хімічних компонентів із наростанням інтенсивності рибекітового метасоматозу змінювався закономірно: від первинних магнетитових кварцитів через проміжні зони до магнетит-рибекітових метасоматитів спостерігається поступове зростання вмісту  $\text{Na}_2\text{O}$  та  $\text{Fe}_{\text{зар}}$ ,  $\text{Fe}_{\text{сил}}$ ,  $\text{Fe}_{\text{сульф}}$  і зменшення вмісту  $\text{SiO}_2$  та  $\text{Fe}_{\text{магн}}$ ,  $\text{Fe}_{\text{гем}}$ ,  $\text{Fe}_{\text{карб}}$ .

Кількісні мінералогічні розрахунки виконано за стандартною методикою з використанням прозорих і полірованих шліфів. Результати розрахунків, одержані в об'ємних відсотках, були перераховані на масові відсотки з урахуванням густини магнетитових кварцитів і рибекітових метасоматитів та густини мінералів. Результати розрахунків свідчать, що зміни хімічного складу магнетитових кварцитів у ході рибекітизації супроводжувались суттєвими змінами їх мінерального складу (табл. 2, рис. 2).

Відбувалось також практично повне заміщення гематиту рибекітом. У магнетит-рибекітових метасоматитах метаморфогенний "емульсійний" гематит (залізна слюдка) відсутній у зв'язку з повним заміщенням рибекітом нерудних прошарків первинних червоношаруватих магнетитових кварцитів. Присутній у рибекітитах гематит представлений його другою генерацією — крупнокристалічною залізною слюдкою (спекуляритом) у січних гематит-кварцових жилах. Утворення його, вірогідно, пов'язане з формуванням епігенетичних гематит-кварцових жил на регресивній стадії натрієвого метасоматозу.

Кумінгтоніт і біотит як рудоутворювальні мінерали наявні у силікатвмісних магнетитових кварцитах периферійних зон продуктивної товщі родовища. У зв'язку з рибекітизацією кумінгтоніт-магнетитових, магнетит-кумінгтонітових, біотит-магнетит-кумінгтонітових кварцитів відбувалась псевдоморфізація магнезіорибекітом кумінгтоніту та повне заміщення біотиту магнезіорибекітом із домішкою альбіту (рис. 3, а). Навіть у ділянках найінтенсивнішого метасоматозу в магнетит-магнезіорибекітових метасоматитах спостерігаються релікти кумінгтоніту в центральних частинах новоутворених кристалів магнезіорибекіту.

Егірин присутній переважно в зонах інтенсивних метасоматичних змін. У зв'язку з тим,

що для його утворення необхідні вищі термодинамічні показники метасоматичних розчинів (лужність, активність натрію, фугітивність кисню) [3], у зонах рибекітизації магнетитових кварцитів егірин трапляється досить рідко. Він представлений окремими короткопризматичними кристалами, субзгідно орієнтованими за шаруватістю вмісних рибекітитів.

Тетраферібіотит і селадоніт виповнюють січні прожилки у рибекітових метасоматитах, які утворились, вірогідно, на заключних стадіях метасоматозу з "відпрацьованих" метасоматичних розчинів, яким була властива низька активність натрію і висока — калію. З дією цих розчинів пов'язане й утворення прожилків кальциту, доломіту, мінесотаїту в слабко рибекітизованих магнетитових кварцитах периферійних зон метасоматичних тіл.

**Висновки.** 1. Криворізький басейн — один із регіонів планетарного масштабу, в межах яких натрієвий метасоматоз був проявлений дуже активно. У продуктивних товщах деяких його родовищ (Первомайське, Ганнівське, Петрівське, Артемівське) метасоматично перетворені руди складають більше половини їх загальної маси. Найпоширеніший різновид натрієвих метасоматитів — рибекітові, кількість їх становить близько 90 % від загального вмісту метасоматитів у складі продуктивних товщ.

2. За даними хімічного аналізу, з наростанням інтенсивності рибекітового метасоматозу відбувалось поступове підвищення у складі магнетитових руд вмісту  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{Fe}_{\text{зар}}$ ,  $\text{Fe}_{\text{сил}}$ ,  $\text{Fe}_{\text{сульф}}$  і зменшення вмісту  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_{\text{магн}}$ ,  $\text{Fe}_{\text{гем}}$ ,  $\text{Fe}_{\text{карб}}$ .

3. Зміни хімічного складу магнетитових кварцитів супроводжувались суттєвими змінами їх мінерального складу. Кількість магнетиту через його часткове заміщення рибекітом зменшилась майже на 10 мас. %. Ще істотнішим було зниження вмісту кварцу — від 43,33 до 3,16 мас. %. Відбулось повне заміщення гематиту рибекітом і псевдоморфізація кумінгтоніту магнезіорибекітом. Егірин зазвичай представлений окремими короткопризматичними кристалами, субзгідно орієнтованими за шаруватістю вмісних рибекітитів. Тетраферібіотит і селадоніт спільно з кварцом виповнюють у рибекітових метасоматитах січні прожилки, які утворились, вірогідно, на заключних стадіях метасоматозу з "відпрацьованих" метасоматичних розчинів.

4. Результати мінералогічного дослідження рибекітових метасоматитів є основою для вдосконалення методів геологічного, мінералогічного, технологічного картування рудних покладів, корегування мінералого-технологічних

класифікацій руд, оптимізації методів усереднення руд перед надходженням на збагачувальні фабрики, прогнозування якісних показників магнетитового концентрату.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Александров И.В. Натровый метасоматоз в Криворожье // Геохимия щелочного метасоматоза. — М. : Изд-во АН СССР, 1963. — С. 71—151.
2. Евтехов В.Д., Полтавец Л.И. Об особенностях состава и свойств рибекитов Северного Криворожья // Докл. АН УССР. Сер. Б. — 1980. — № 5. — С. 13—15.
3. Евтехов В.Д., Зарайский Г.П., Балашов В.Н., Валеев О.К. Зональность натриевых метасоматитов в железистых кварцитах Северного Криворожья // Очерки физико-химической петрологии. — М. : Наука, 1988. — № 15. — С. 17—37.
4. Елисейев Н.А., Никольский А.П., Кушев В.Г. Метасоматиты Криворожского рудного пояса // Тр. Лаборатории геологии докембрия АН СССР. — М.-Л. : Изд-во АН СССР, 1961. — Вып. 13. — 204 с.
5. Кушев В.Г. Щелочные метасоматиты докембрия. — Л. : Недра, 1972. — 190 с.
6. Никольский А.П. Натриевые гидротермальные метасоматиты юго-западной части Русской платформы // Геол. журн. — 1973. — № 2. — С. 31—44.
7. Остапенко П.Е. Технологическая оценка минерального сырья. Опробование месторождений. Характеристика сырья. — М. : Недра, 1990. — 272 с.
8. Пирогов Б.И. Геолого-минералогические факторы определяющие обогатимость железистых кварцитов. — М. : Недра, 1969. — 240 с.
9. Пирогов Б.И., Поротов Г.С., Холошин И.В., Тарасенко В.Н. Технологическая минералогия железных руд. — Л. : Наука, 1988. — 304 с.
10. Пирогов Б.И., Стебновская Ю.М., Евтехов В.Д., Ахкозов Ю.Л., Аркос Видаль Х.Ф., Вальтер А.А., Каталенец А.И., Кудинова Л.А., Кушеев В.В., Мальных В.Н., Пирогова В.А., Раевская М.Б., Романишак А.А., Тарасенко В.Н., Холошин И.В., Шатрубов Л.Л., Ярошук М.А. Железисто-кремнистые формации докембрия европейской части СССР. Минералогия. — Киев : Наук. думка, 1989. — 168 с.
11. Половинкина Ю.Ир. Куммингтонит и щелочные амфиболы Кривого Рога // Минерал. сб. — 1953. — № 7. — С. 167—186.
12. Стрельцов В.О., Евтехов В.Д. Локалізація рибекітових метасоматитів у продуктивних товщах залізорудних родовищ Криворізького басейну // Геол.-мінерал. вісн. Криворізьк. нац. ун-ту. — 2016. — № 1 (35). — С. 111—120.
13. Эйгстер Х.П., Ай Мин-Чжоу. Условия отложения железорудных формаций докембрия // Докембрийские железорудные формации мира : Пер. с англ. / Под ред. В.М. Григорьева. — М. : Мир, 1975. — С. 311—349.

Надійшла 18.08.2017

#### REFERENCES

1. Aleksandrov, I.V. (1963), *Geochemistry of alkaline metasomatism*, Publ. House of SSSR Acad. of Sci., Moscow, RU, pp. 71-151.
2. Evtexhov, V.D. and Poltavets, L.I. (1980), *Reports of the UkrSSR Acad. of Sci., Ser. B*, No. 5, Kyiv, UA, pp. 13-15.
3. Evtexhov, V.D., Zarayskiy, G.P., Balashov, V.N. and Valeyev, O.K. (1988), *Physico-chemical petrology essays*, No. 15, Nauka, Moscow, RU, pp. 17-37.
4. Eliseyev, N.A., Nikolskiy, A.P. and Kushev, V.G. (1961), *Proc. of the Laboratory of Precambrian geology of SSSR Acad. of Sci.*, Iss. 13, Publ. House of SSSR Acad. of Sci., Moscow-Leningrad, RU, 204 p.
5. Kushev, V.G. (1972), *Alkaline metasomatites of the Precambrian*, Nedra, Leningrad, RU, 190 p.
6. Nikolskiy, A.P. (1973), *Geological Journal*, No. 2, Kyiv, UA, pp. 31-44.
7. Ostapenko, P.E. (1990), *Technological evaluation of mineral raw materials. Assaying deposits. Characteristics of raw materials*, Nedra, Moscow, RU, 272 p.
8. Pirogov, B.I. (1969), *Geological and mineralogical factors determining ferruginous quartzites dressability*, Nedra, Moscow, RU, 240 p.
9. Pirogov, B.I., Porotov, G.S., Holoshin, I.V. and Tarasenko, V.N. (1988), *Technological mineralogy of iron*, Nauka, Leningrad, RU, 304 p.
10. Pirogov, B.I., Stebnovskaya, Yu.M., Evtexhov, V.D., Akhkozov, Yu.L., Arkos Vidal, Kh.F., Valter, A.A., Katalenets, A.I., Kudinova, L.A., Kusheyev, V.V., Malykh, V.N., Pirogova, V.A., Rayevskaya, M.B., Romanshchak, A.A., Tarasenko, V.N., Kholoshin, I.V., Shatrubov, L.L. and Yaroshchuk, M.A. (1989), *Precambrian banded iron formations of the European part of the SSSR. Mineralogy*, Nauk. dumka, Kyiv, UA, 168 p.

11. Polovinkina, Yu.Ir. (1953), *Mineralogical digest*, No. 7, Lvov Gos. Univ. press, Lvov, UA, pp. 167-186.
12. Streltsov, V.O. and Evtexov, V.D. (2016), *Geology and Mineralogy Bull. Kryvyi Rih Nat. Univ.*, No. 1 (35), pp. 111-120.
13. Eugster, H.P. and Chou, I.-M. (1975), *Precambrian iron ore formations of the world*, in Grigoriev, V.M. (ed.), Mir, Moscow, RU, pp. 311-349.

Received 18.08.2017

*В.О. Стрельцов*<sup>1,2</sup>, *В.Д. Евтехов*<sup>2</sup>, *А.В. Евтехова*<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ингулецкий горно-обогатительный комбинат  
50002, г. Кривой Рог, Украина, ул. Рудная, 47  
E-mail: misterstrelcov90@gmail.com

<sup>2</sup> Государственное высшее учебное заведение  
"Криворожский национальный университет"  
50002, г. Кривой Рог, Украина, ул. Виталия Матусевича, 11  
E-mail: evtexov@gmail.com, eva.anna23@gmail.com

#### ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА МАГНЕТИТОВЫХ КВАРЦИТОВ КРИВОРОЖСКОГО БАССЕЙНА В СВЯЗИ С РИБЕКИТИЗАЦИЕЙ

Изложены результаты минералогического изучения в разной степени рибекитизированных бедных магнетитовых руд (магнетитовых кварцитов) Криворожского бассейна. Руды, преобразованные в результате натриевого метасоматоза, составляют более половины общей массы продуктивных толщ Первомайского, Анновского, Петровского, Артемовского месторождений, представлены также в продуктивных толщах Ингулецкого, Валявкинского и других месторождений Кривбасса. Наиболее распространенная разновидность натриевых метасоматитов — рибекитовые, количество которых составляет около 90 % от общего содержания натриевых метасоматитов в составе продуктивных толщ. С нарастанием интенсивности рибекитизации закономерно изменялось содержание химических компонентов в составе магнетитовых руд. Результаты петрохимических исследований рибекитовых метасоматитов Первомайского месторождения показали, что от первичных магнетитовых кварцитов через промежуточные зоны (рибекитсодержащие магнетитовые кварциты и рибекит-магнетитовые кварциты) к магнетит-рибекитовым метасоматитам (рибекититам) постепенно возрастает содержание  $\text{Na}_2\text{O}$  (в среднем от 0,11 до 2,34 мас. %),  $\text{Fe}_{\text{общ}}$  (от 39,11 до 40,24 мас. %),  $\text{Fe}_{\text{сил}}$  (от 0,58 до 12,08),  $\text{Fe}_{\text{сульф}}$  (от 0,12 до 0,18) и уменьшается содержание  $\text{SiO}_2$  (от 39,65 до 37,23),  $\text{Fe}_{\text{магн}}$  (от 34,85 до 27,65),  $\text{Fe}_{\text{гем}}$  (от 3,34 до 0,24),  $\text{Fe}_{\text{карб}}$  (от 0,22 до 0,09 мас. %). Рибекитизация магнетитовых кварцитов сопровождалась значительными изменениями их минерального состава: количество магнетита в связи с его частичным замещением рибекитом уменьшилось почти на 10 мас. %. Еще более значительным было снижение содержания кварца — от 43,33 до 3,16 мас. %. Произошло также практически полное замещение рибекитом гематита. Куммингтонит испытал псевдоморфизацию магнезиорибекитом. С рибекитизацией было связано образование ряда второстепенных натрий- и калийсодержащих минералов: эгирина, а также тетраферрибиотита, селадонита, которые обычно совместно с кварцем выполняют секущие прожилки в рибекитовых метасоматитах. Результаты минералогического исследования рибекитовых метасоматитов — основа совершенствования методов геологического, минералогического, технологического картирования месторождений, корректирования минералого-технологических классификаций руд, оптимизации методов усреднения руд перед подачей на обогатительные фабрики, прогнозирования качественных показателей магнетитового концентрата.

*Ключевые слова:* железисто-кремнистая формация, Криворожский бассейн, рибекитовые метасоматиты, петрохимия, минералогия.

*V.O. Streltsov*<sup>1,2</sup>, *V.D. Evtexov*<sup>2</sup>, *A.V. Evtexova*<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ingulets Ore Mining and Processing Works  
47, Rudnaya Str., Kryvyi Rih, Ukraine, 50002  
E-mail: misterstrelcov90@gmail.com

<sup>2</sup> State Institution of Higher Education  
"Kryvyi Rih National University"  
11, Vitaliy Matusevich Str., Kryvyi Rih, Ukraine, 50002  
E-mail: evtexov@gmail.com, eva.anna23@gmail.com

#### THE REGULARITIES OF THE MINERAL COMPOSITION OF KRYVYI RIH BASIN MAGNETITE QUARTZITES IN CONNECTION WITH RIEBECKITIZATION

The results of mineralogical studies of low-grade magnetite ores (magnetite quartzites) of Kryvyi Rih basin riebeckitized to various extents are presented. The ores transformed as a result of sodium metasomatism form more than a half of the total mass of the productive strata of Pervomayske, Hannivka, Petrivske, and Artemivka deposits; they are also represented in the



productive strata of Ingulets, Valyavkynske and other deposits of the Kryvbass. The most common variety of sodium metasomatites are riebeckite ones, their amount makes up about 90 % of the total sodium metasomatites content in the productive strata. The content of chemical components in magnetite ores regularly changed with increasing intensity of riebeckitization. The results of petrochemical studies of the riebeckite metasomatites of the Pervomayske deposit showed that the  $\text{Na}_2\text{O}$  content gradually increases from the primary magnetite quartzites through the intermediate zones (riebeckite-containing magnetite quartzites and riebeckite-magnetite quartzites) to magnetite-riebeckite metasomatites (riebeckitites) (on average from 0.11 to 2.34 mass. %),  $\text{Fe}_{\text{tot}}$  (from 39.11 to 40.24 mass. %),  $\text{Fe}_{\text{sil}}$  (from 0.58 to 12.08 mass. %),  $\text{Fe}_{\text{sulf}}$  (from 0.12 to 0.18 mass. %) and the  $\text{SiO}_2$  content decreases (from 39.65 to 37.23 mass. %),  $\text{Fe}_{\text{magn}}$  (from 34.85 to 27.65 mass. %),  $\text{Fe}_{\text{hem}}$  (from 3.34 to 0.24 mass. %),  $\text{Fe}_{\text{carb}}$  (from 0.22 to 0.09 mass. %). Riebeckitization of magnetite quartzites was accompanied by significant changes in their mineral composition: the amount of magnetite decreased by almost 10 mass. % due to its partial substitution by riebeckite. The decrease in the content of quartz was even more significant — from 43.33 to 3.16 mass. %. There was also an almost complete replacement of hematite with riebeckite. Cummingtonite underwent pseudomorphization with magnesioriebeckite. The formation of a number of minor sodium and potassium-containing minerals such as aegirine, tetraferribiotite, and celadonite, which usually fill together with quartz cross veinlets in riebeckite metasomatites, was associated with riebeckitization. The results of the mineralogical study of riebeckite metasomatites are the basis for improving the methods of geological, mineralogical, technological mapping of deposits, correcting mineralogical-technological classifications of ores, optimizing methods for blending ores before feeding concentration plants, and forecasting quality indicators of the magnetite concentrate.

*Keywords:* banded iron formation, Kryvyi Rih basin, riebeckite metasomatites, petrochemistry, mineralogy.