

<https://doi.org/10.15407/mineraljournal.40.01.079>

УДК 549 : 553.31 : 622.7 (477.63)

Д.М. Прилепа, В.Д. Євтехов

Державний вищий навчальний заклад

“Криворізький національний університет”

50002, м. Кривий Ріг, Україна, вул. Віталія Матусевича, 11

E-mail: prilepa.dm@gmail.com, evtekhov@gmail.com

ВПЛИВ МАРШАЛІТИЗАЦІЇ НА ДЕЯКІ ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ГЕМАТИТОВИХ КВАРЦИТІВ КРИВОРІЗЬКОГО БАСЕЙНУ

Гематитові кварцити є продуктом вивітрювання первинних метаморфогенних магнетитових кварцитів, якими складені залізисті горизонти продуктивної саксаганської світи Криворізького басейну. Головною тенденцією гіпергенних змін магнетитових кварцитів є зменшення їх мінералогічної різноманітності: перехід від первинних полімінеральних асоціацій до бі- (гематит + кварц) або тримінеральних (гематит + кварц + каолінит) асоціацій гематитових кварцитів. Нині гематитові кварцити вивчають як перспективну сировину для виробництва високоякісного залізородного концентрату. Один із напрямків досліджень — визначення особливостей неоднорідності покладів гематитових кварцитів, у тому числі пов'язаних із присутністю тіл гематитових маршалітів. У покладах гематитових кварцитів Південного залізородного району Кривбасу (Скелюватське та Валявкінське родовища), які були найбільш детально досліджені авторами статті, кількість гематитових маршалітів досягає 20 % від загальної маси покладів гематитової сировини. Був досліджений матеріал 320 проб гематитових кварцитів, в тому числі незмінених і слабо, середньо, сильно маршалізованих, а також гематит-кварцової "сипучки", яка є кінцевим продуктом маршалітизації гематитових кварцитів. За результатами хімічних і мінералогічних досліджень, визначення фізичних і технічних характеристик матеріалу вивчених проб, було встановлено головні тренди зміни щільнісних і міцнісних показників гематитових кварцитів у зв'язку з маршалітизацією. З наростанням інтенсивності маршалітизації через винесення заліза відбувається поступове зменшення густини гематитових кварцитів — від 4060,69 кг/м³ для незмінених різновидів; через 4044,54 і 4013,42 кг/м³ для слабо і середньо змінених до 3994,30 і 3979,26 кг/м³ для сильно та дуже сильно маршалізованих. Зі зміною структури гематитових кварцитів, спостерігається значне зростання їхньої пористості — від 4,40 % для незмінених гематитових кварцитів до 22,18 % для гематит-кварцової "сипучки". Показники об'ємної маси гематитових кварцитів з підвищенням активності маршалітизації зменшуються значно інтенсивніше, ніж показники густини. Причина полягає в тому, що на показники об'ємної маси впливає не тільки загальне зменшення вмісту заліза в складі гематитових кварцитів, але й (більшою мірою) зростання їхньої пористості. Збільшення пористості викликає зменшення міцності гематитових кварцитів від 13,86 балів (за М.М. Протод'яконовим) для незмінених різновидів до 2,51 балів для гематит-кварцової "сипучки". Одержані дані можуть бути використані для подальших мінералогічних, петрохімічних досліджень маршалітів, вирішення практичних задач підрахунку запасів гематитової сировини, визначення її якісних показників і розробки оптимальних технологій видобутку бідних гематитових руд; їх усереднення перед надходженням на збагачувальні фабрики та складання технологічних схем виробництва високоякісного гематитового концентрату.

Ключові слова: залізисто-кремниста формація, Криворізький басейн, кора вивітрювання, маршалітизація, показники щільності, показники пористості, показники міцності.

Актуальність роботи. Порооди залізисто-кремнистої формації Криворізького басейну протягом понад 2 млрд рр. його існування в континентальних умовах у складі Українського щита (УЩ) зазнали інтенсивних гіпергенних змін

[2—5, 7]. Сформувалась потужна кора вивітрювання залізистих порід, глибина її поширення коливається від декількох десятків до понад 2500 м. Термодинамічні умови формування кори вивітрювання спричинили глибокі зміни мінерального складу, структури, текстури залізистих кварцитів і сланців.

© Д.М. ПРИЛЕПА, В.Д. ЄВТЕХОВ, 2018

Головним проявом гіпергенезу залізистих кварцитів було заміщення у них метаморфогенних мінералів гіпергенними: магнетиту гематитом (мартитом); залізовмісних силікатів (кумінгтоніт, егірин, рибекіт, селадоніт, тетраферибіотит та ін.), карбонатів (сидерит, сидероплезит, пістомезит та ін.), сульфідів (пірит, піротин) — дисперсним гематитом; глинозем-залізистих силікатів (хлорит, біотит, стильпномелан, альмандин та ін.) — прихованокристалічним агрегатом дисперсного гематиту та каолініту. В ділянках найбільш інтенсивного гіпергенезу відбувалось заміщення гематиту (мартиту, залізої слюдки, дисперсного гематиту) гідроксидами заліза — гетитом, дисперсним гетитом, лепідокрокітом.

Таким чином, головною мінералогічною тенденцією вивітрювання магнетитових кварцитів було зменшення їх мінералогічної різноманітності, перехід від полімінеральних асоціацій магнетитових кварцитів до бі- (гематит + кварц) або тримінеральних (гематит + кварц + каолініт; гематит + кварц + гетит) асоціацій гематитових кварцитів.

Присутні у складі вихідних магнетитових кварцитів кварц і залізна слюдка (пластинчастий гематит) були відносно стійкими до вивітрювання.

Одним із проявів гіпергенних змін гематитових кварцитів була маршалітизація [3, 7—11]. Вона відбувалась під впливом гіпергенних флюїдів підвищеної лужності та полягала у частковому розчиненні кварцу та гематиту, винесенні кремнезему й оксиду тривалентного заліза за межі зон маршалітизації. У найдетальніше вивчених авторами покладах гематитових кварцитів Південного залізорудного району Кривбасу кількість залізорудних маршалітів досягає 20 % від загального об'єму покладів.

Протягом останніх років гематитові кварцити вивчають як перспективну залізорудну сировину більшості родовищ Кривбасу. Виконано геологічні, мінералогічні, петрографічні дослідження, технологічні випробування гематитових кварцитів з метою розробки ефективної технології виробництва із них високоякісного залізорудного концентрату. У ході таких робіт необхідно враховувати неоднорідність рудних покладів за мінеральним складом, структурою, текстурою, фізичними властивостями гематитової сировини. Однією з причин цієї неоднорідності є наявність у покладах гематитових кварцитів тіл маршалітів.

Це й визначає актуальність публікації.

Результати попередніх досліджень. Вивітрювання магнетитових кварцитів та інших залізорудних утворень саксаганської світи досить глибоко досліджено у роботах багатьох авторів (напр. [3, 7]). У переважній більшості публікацій розглянуто мінеральний склад гематитових кварцитів, спрямованість його змін під час вивітрювання, особливості мінералогічної зональності кори вивітрювання залізисто-кремністої формації. Описано загальні характеристики маршалітизованих гематитових кварцитів, умови їх утворення, але в жодній роботі маршаліти не охарактеризовані як головний об'єкт досліджень. Практично не вивчені питання прикладної мінералогії маршалітів — розміри й локалізація їх покладів, варіативності мінералогічних показників гематитових кварцитів у зв'язку з маршалітизацією: морфології індивідів рудних і нерудних мінералів, фізичних, технічних, технологічних властивостей маршалітів як залізорудної сировини.

Мета роботи — визначення закономірностей зміни густини, об'ємної маси, пористості, міцності гематитових кварцитів залежно від ступеня їх маршалітизації.

Вихідний матеріал і методика досліджень. Поклади гематитових кварцитів присутні в межах усіх залізорудних родовищ Криворізького басейну. Глибина поширення кори вивітрювання магнетитових кварцитів є дуже різною. Так, наприклад, у Північному залізорудному районі (Первомайське, Ганнівське родовища) вона не перевищує декількох десятків метрів, водночас локально досягаючи 150 м. Найбільшою потужністю (понад 2500 м) характеризуються поклади гематитових кварцитів Саксаганського залізорудного району, які утворюють обрамлення тіл багатих гематитових руд. Південний залізорудний район відрізняється значною мінливістю вертикальної потужності тіл гематитових кварцитів — від перших десятків метрів у південній частині Склеюватського родовища й більше 1000 м у північній частині Валявкинського родовища. Подібним чином цей показник змінюється і за простяганням у Лихманівському районі — від перших десятків метрів у південній частині від нього до понад 1000 м у північній частині Інгулецького родовища та в розташованому північніше від нього Рахманівському родовищі.

Головним об'єктом досліджень обрано поклади гематитових кварцитів Склеюватського та

Валявкинського родовищ Південного залізрудного району Кривбасу. На всю глибину поширення кори вивітрювання вони відслонені у гірничих виробках північного борту Скелюватського кар'єру Південного гірничозбагачувального комбінату (ГЗК) і східного та південного бортів Валявкинського кар'єру Новокриворізького ГЗК.

Під час проходження геологічних маршрутів у забоях кар'єрів було встановлено, що тіла маршалітів розташовані переважно в ділянках активного прояву плікативних і диз'юнктивних порушень верств гематитових кварцитів. Максимальна інтенсивність маршалітизації властива ділянкам найактивніших тектонічних проявів — шарнірних частин синклінальних складок (рис. 1), ділянок дисгармонійної складчастості, перетину розривних порушень (рис. 2).

Відібрано 320 мінералого-технологічних проб гематитових кварцитів масою до 20 кг на різних гіпсометричних рівнях кар'єрів, із різних залізистих горизонтів (четвертого, п'ятого та шостого), різних зон тіл гематитових маршалітів. З них було відібрано 98 найбільш представницьких проб, матеріал яких характеризував різновиди гематитових кварцитів із різним ступенем маршалітизації:

- незмінні гематитові кварцити;
- слабо маршалітизовані гематитові кварцити, які характеризувались початковим проявом (потужність до 0,2 см) маршалітизації вздовж січних тріщин і контактів рудних та нерудних прошарків; міцність цих гематитових кварцитів практично не відрізнялась від міцності незмінених його різновидів;
- середньо маршалітизовані гематитові кварцити, які відрізнялись більшою потужністю (до 2,0 см) прожилків та прошарків маршаліту; міцність гематитових кварцитів була помітно меншою, під ударом молотка вони руйнувались по площинах жил і прошарків маршалітів;
- сильно маршалітизовані, в об'ємі яких кількісно переважали маршаліти над реліктами незмінених, або слабо змінених гематитових кварцитів; зразки відрізнялись низькою міцністю: розламувались у руках без використання молотка;
- дуже сильно змінені, фактично суміш гематит-кварцової "сипучки" ("шелестухи") та реліктів слабо, середньо маршалітизованих гематитових кварцитів; міцність дуже незначна, руда розсипалась у руці, залишаючи окремі міцніші уламки.

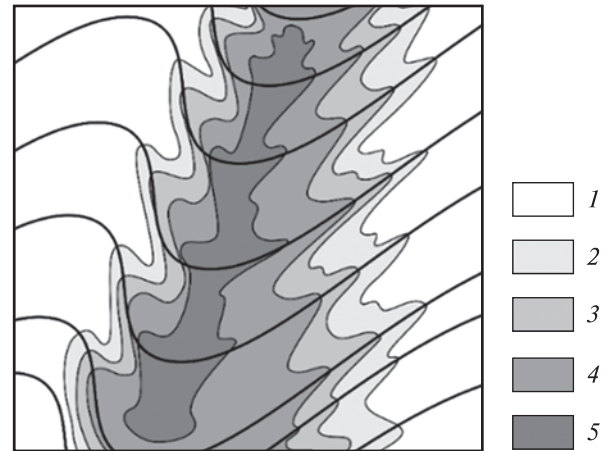


Рис. 1. Зональне тіло маршалітів у шарнірі синклінальної складки верств гематитових кварцитів п'ятого залізистого горизонту Скелюватського родовища. Тут і на рис. 2, 3 — різновиди гематитових кварцитів: 1 — незмінні; маршалітизовані: 2 — слабо, 3 — середньо, 4 — сильно, 5 — дуже сильно (гематит-кварцова "сипучка")

Fig. 1. Zonal body of marshallites in the hinge of the synclinal fold of hematite quartzites layers of the fifth ferriferous horizon, Skelyuvatske deposit. Here and on Fig. 2, 3 — varieties of hematite quartzite: 1 — unmodified; marshallitized: 2 — weakly, 3 — separately, 4 — highly, 5 — very highly (hematite-quartz "powder")

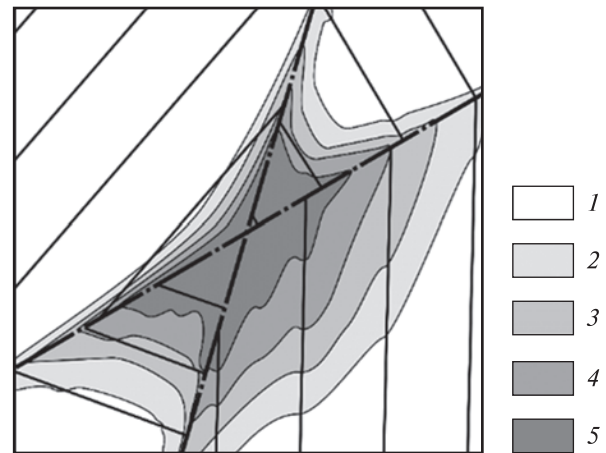


Рис. 2. Зональне тіло маршалітів на перетині розривних порушень у п'ятому залізистому горизонті Скелюватського родовища. Різновиди гематитових кварцитів: 1—5 див. на рис. 1

Fig. 2. Zonal body of marshallites in the place of crossing of faults in fifth ferriferous horizon, Skelyuvatske deposit. Varieties of hematite quartzite: 1—5 see Fig. 1

Матеріал кожної з 98 проб з метою повнішої його характеристики піддано скороченому фазовому аналізу (визначення загального вмісту заліза $Fe_{\text{заг}}$ і вмісту заліза в складі магнетиту $Fe_{\text{магн}}$). Аналізи виконано в хімічній лаборато-

Таблиця 1. Середні значення хімічних, щільнісних та міцнісних показників гематитових кварцитів та їх маршалізованих різновидів

Table 1. Average values of chemical, density and strength indicators of hematite quartzites and their marshallitized varieties

Гематитові кварцити	Fe _{заг}	Fe _{магн}	Густина, δ	Об'ємна маса, d	Пористість, П	Міцність, за М.М. Протод'яконовим
	мас. %		кг/м ³		%	f , од.
Незмінені	38,57	0,83	4060,69	3882,03	4,40	13,86
Маршалізовані:						
слабко	38,04	0,74	4044,54	3712,31	8,22	11,95
середньо	37,32	0,57	4013,42	3490,01	13,04	9,55
сильно	36,72	0,49	3994,30	3304,33	18,27	6,15
дуже сильно	36,28	0,27	3979,26	3098,18	22,18	2,51

Таблиця 2. Коефіцієнти парної кореляції значень хімічних, щільнісних та міцнісних показників гематитових кварцитів та їх маршалізованих різновидів

Table 2. Coefficients of pair correlation of values of chemical, density and strength indicators of hematite quartzites and their marshallitized varieties

Показник	Fe _{заг}	Fe _{магн}	δ	d	П	f
Fe _{заг}	1	0,18	0,99	0,67	-0,55	0,54
Fe _{магн}	0,18	1	0,13	0,54	-0,58	0,75
δ	0,99	0,13	1	0,65	-0,53	0,5
d	0,67	0,54	0,65	1	-0,99	0,76
П	-0,55	-0,58	-0,53	-0,99	1	-0,74
f	0,54	0,75	0,5	0,76	-0,74	1

рії Державної інспекції з контролю якості залізозорудної сировини "ДІЯП руда". Щільнісні показники гематитових кварцитів визначено в лабораторії кафедри геології і прикладної мінералогії Криворізького національного університету; їхня міцність — у лабораторії Криворізької комплексної геологічної партії. Використано стандартні методи визначення відповідних показників.

Результати та їх обговорення. Результати виконаних досліджень проаналізовано з використанням статистичних методів. Середні значення параметрів наведено в табл. 1, коефіцієнти парної кореляції — в табл. 2.

Дані про фазовий склад заліза гематитових кварцитів (табл. 1) підтверджують результати виконаних раніше досліджень [3, 6, 12], а також виявлену авторами закономірність поступового зменшення загального вмісту заліза (Fe_{заг}), представленого, головним чином, його тривалентною формою, зі зростанням інтенсивності маршалізації первинних гематитових кварцитів.

Вміст Fe_{заг} від первинних гематитових кварцитів до центральних зон тіл маршалітів, представлених гематит-кварцовою "сипучкою", зменшується більш ніж на 2 мас. % — від 38,57 до 36,28 мас. %. Це свідчить про часткове розчинення гематиту одночасно з розчиненням кварцу під впливом лужних гіпергенних розчинів і про більш активне винесення оксиду тривалентного заліза (через його амфотерність), порівняно з винесенням кремнезему за межі зон маршалізації гематитових кварцитів.

Вміст заліза у складі магнетиту (Fe_{магн}) також значною мірою зменшується. Це можна пояснити активізацією заміщення гематитом (мартитом) первинного магнетиту з наростанням інтенсивності маршалізації гематитових кварцитів. Кількість Fe_{магн} від незмінених гематитових кварцитів до найбільш інтенсивно маршалізованих різновидів зменшується утричі — від 0,83 до 0,27 мас. %. Винесення заліза закономірно супроводжується зменшенням густини гематитових кварцитів. Для незмінених різновидів значення цього показника становить, кг/м³: 4060,69; для слабко і середньо змінених — 4044,54 і 4013,42 відповідно; для сильно та дуже сильно змінених — 3994,30 і 3979,26.

Одночасно зі зміною хімічного складу та густини відбуваються суттєві зміни структури гематитових кварцитів. Головний прояв цього — розчинення периферійних частин ксеноморфних кристалів кварцу, які складають матрицю гематитових кварцитів. Найактивнішого розчинення зазнають частини кристалів, що характеризуються найбільш складною поверхнею [8]. Наслідком є спрощення форми кристалів кварцу та зростання пористості руд: від 4,40 % для незмінених гематитових кварцитів

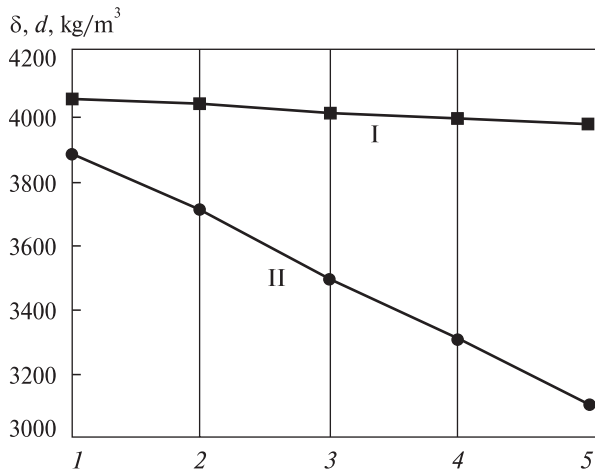


Рис. 3. Особливості зміни густини (I) і об'ємної маси (II) гематитових кварцитів зі зростанням інтенсивності їх маршалітизації. Різновиди гематитових кварцитів: 1—5 див. на рис. 1

Fig. 3. Peculiarities of the change of density (I) and the bulk mass (II) of hematite quartzites with the increase of their marshallitization intensity. Varieties of hematite quartzite: 1—5 see Fig. 1

до 22,18 % для їх інтенсивно маршалітизованих різновидів.

Важливою характеристикою залізорудної сировини є об'ємна маса, показники якої використовуються для підрахунку запасів руд, розрахунку технологій буровибухових, навантажувально-розвантажувальних та інших робіт. Результати досліджень засвідчили, що значення об'ємної маси гематитових кварцитів зі збільшенням активності маршалітизації зменшується набагато інтенсивніше, ніж значення густини (рис. 3). Причина полягає в тому, що на показники об'ємної маси впливають не тільки загальне зменшення вмісту заліза в складі руди, але й (більшою мірою) зростання її пористості.

Зростання пористості гематитових кварцитів у зв'язку з маршалітизацією спричиняє суттєве зменшення їхньої міцності, яку ми визначили за методом М.М. Протод'яконова [1, 13]. З даних табл. 1 видно, що міцність руд від незмінених різновидів до гематит-кварцової "си-

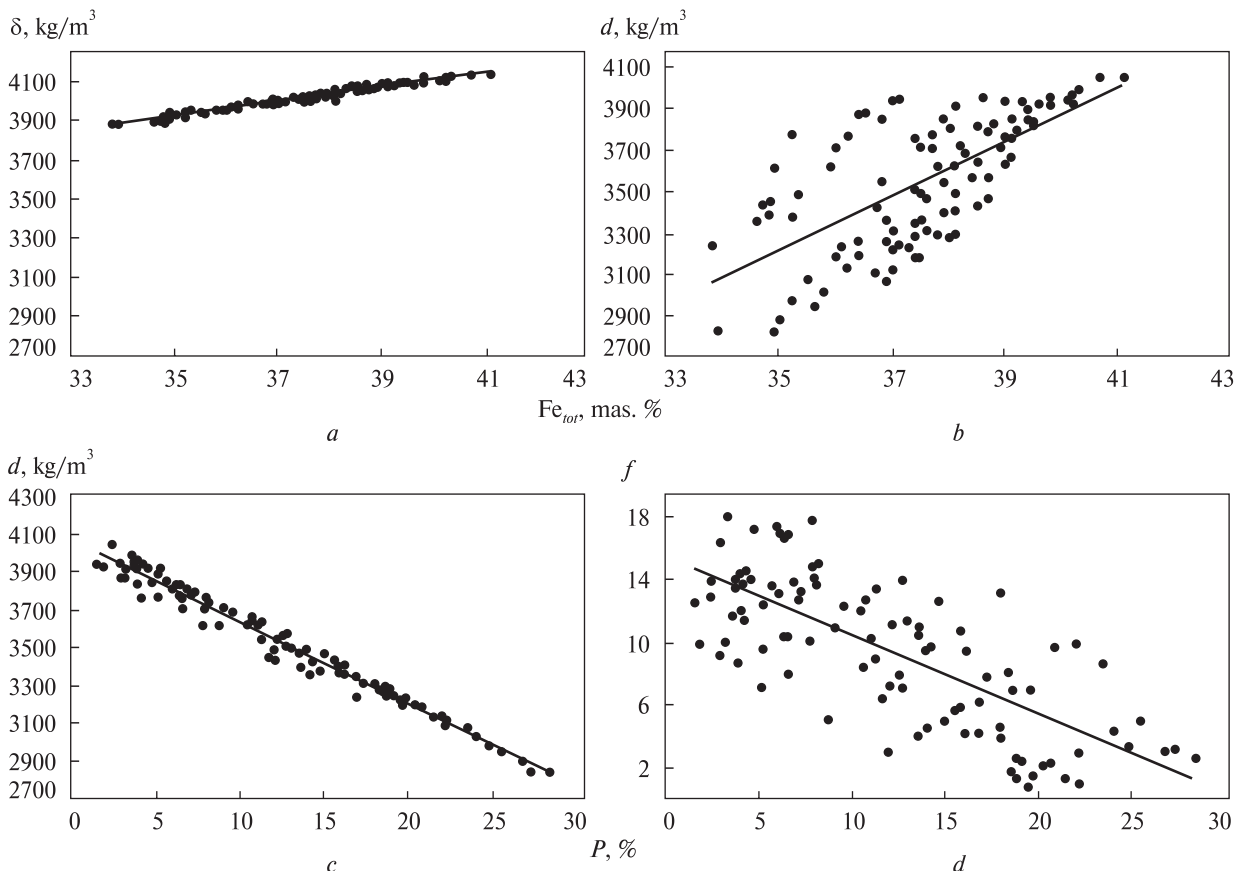


Рис. 4. Характер залежності хімічних, щільнісних і міцнісних показників маршалітизованих гематитових кварцитів

Fig. 4. Peculiarities of dependence of chemical, density and strength indicators of marshallitized hematite quartzites

пучки" зменшується в 5–6 разів — від 13,86 до 2,51 балів.

Аналіз результатів статистичної обробки одержаних даних показав, що тренди змін окремих із визначених показників гематитових кварцитів є спільними (табл. 2). Тісний прямий кореляційний зв'язок зафіксований між показниками загального вмісту заліза і густиною руд, оскільки значення останнього контролюється, головним чином, вмістом гематиту — головного рудного мінералу. Фігуративні точки матеріалу досліджених проб розташовані на діаграмі практично в одну лінію, яка відповідає лінії тренду (рис. 4, а).

Значно розмитішим є поле розташування фігуративних точок проб на діаграмі залежності показників об'ємної маси і загального вмісту заліза (рис. 4, б). Це підтверджує висловлений вище висновок про вплив на показники об'ємної маси значень пористості руд (рис. 4, с).

Досить чіткою зворотною, хоч і не дуже тісною (коефіцієнт парної кореляції $r = -0,74$), є залежність між показниками пористості і міцності гематитових кварцитів. Як вказано вище, наростання інтенсивності їх маршалізації супроводжується підвищенням пористості руд, зменшенням їх супротиву фізичним навантаженням, зниженням показника міцності (за М.М. Протод'яконовим).

Висновки. 1. Кору вивітрювання залізистих горизонтів саксаганської світи Криворізького басейну складають гематитові кварцити. Частина їх зазнала маршалізації під впливом лужних гіпергенних розчинів. Нині гематитові кварцити досліджують як сировину для ви-

робництва залізородного (гематитового) концентрату.

2. Вивчено хімічні, щільнісні та міцнісні показники матеріалу 98 проб різною мірою маршалізованих гематитових кварцитів. Загальний вміст заліза від незмінених до інтенсивно маршалізованих гематитових кварцитів зменшується більш ніж на 2 мас. % — від 38,57 до 36,28 мас. %, що пояснюється частковим винесенням оксиду тривалентного заліза — більш інтенсивним, ніж одночасне з ним винесення кремнезему. Ще більше — утричі — зменшується у складі гематитових кварцитів вміст заліза, яке входить до складу реліктового магнетиту.

3. Винесення заліза закономірно супроводжується зменшенням густини гематитових кварцитів: від 4060,69 кг/м³ від незмінених їх різновидів до 3979,26 кг/м³ — дуже сильно маршалізованих. Часткове розчинення кварцу і гематиту спричиняє значне зростання пористості гематитових кварцитів: від 4,40 % для незмінених до 22,18 % для інтенсивно змінених різновидів. Винесення заліза та зростання пористості гематитових кварцитів обумовили значне зменшення показника їх об'ємної маси. Зростання пористості гематитових кварцитів у зв'язку з маршалізацією обумовило суттєве зменшення їхньої міцності — від 13,86 до 2,51 балів (за М.М. Протод'яконовим).

4. Результати досліджень необхідно враховувати у ході геологічної оцінки покладів гематитових кварцитів, розробки технологій їх видобутку, усереднення перед надходженням на збагачувальні фабрики для виробництва гематитового концентрату.

ЛІТЕРАТУРА

1. Барон Л.И., Коняшин Ю.Г., Курбатов В.М. Дробимость горных пород. — М.: Акад. наук СССР, 1963. — 168 с.
2. Белевцев Р.Я., Белевцев Я.Н., Борисенко В.Г., Дроздовская А.А., Епатко Ю.М., Занкевич Б.А., Калиниченко О.А., Коваль В.Б., Коржнев М.Н., Кравченко В.М., Кулик Д.А., Кушеев В.В., Лазуренко В.И., Литвинская М.А., Николаенко В.И., Пиковский Е.Ш., Пирогов Б.И., Прожогин Л.Г., Савченко Л.Т., Самсонов В.А., Скворцов В.В., Стебновская Ю.М., Терещенко С.И., Чайкин С.И., Ярощук М.А. Железисто-кремнистые формации докембрия европейской части СССР. Генезис железных руд. — Киев: Наук. думка, 1991. — 216 с.
3. Белевцев Я.Н., Тохтуев Г.В., Стрыгин А.И., Мельник Ю.П., Каляев Г.И., Фоменко В.Ю., Загоруйко Л.Г., Моляко Г.И., Половко Н.И., Довгань М.Н., Ладиева В.Д., Жуков Г.В., Епатко Ю.М., Шербаков Б.Д. Геология криворожских железорудных месторождений. — Киев: Изд. АН УССР, 1962. — Т. 1. — 484 с.; Т. 2. — 567 с.
4. Додатко А.Д. Послеархейские эпохи порообразования на территории Украинского щита // Докл. АН УССР. Сер. Б. — 1979. — № 2. — С. 83–87.
5. Євтєхов В.Д. Етапи формування комплексної мінерально-сировинної бази залізородних родовищ Криворізько-Кременчуцького лінеаменту // Відом. Акад. гірн. наук України. — 1997. — № 4. — С. 111–114.
6. Євтєхова А.В., Смірнов О.Я., Прилепа Д.М. Варіативність хімічного складу гематитових кварцитів Валявкінського родовища (Криворізький басейн) // Сталий розвиток промисловості та суспільства. Геологія, прикладна мінералогія, екологія: Матеріали міжнар. наук.-техн. конф. (Кривий Ріг, 22–25 трав. 2012 р.) / Криворізький нац. ун-т. — Кривий Ріг, 2012. — С. 66–71.

7. Лазаренко Е.К., Гершойг Ю.Г., Бучинская Н.И., Белевцев Р.Я., Возняк Д.К., Галабурда Ю.А., Галий С.А., Квасни-ца В.Н., Кульчицкая А.А., Мельник Ю.П., Мельников В.С., Павлишин В.И., Пирогов Б.И., Туркевич Г.И. Минералогия Криворожского бассейна. — Киев : Наук. думка, 1977. — 544 с.
8. Прилепа Д.М. Закономірність змін форми кристалів кварцу при маршалітизації гематитових кварцитів // Розвиток промисловості та суспільства. Геологія і прикладна мінералогія : Матеріали міжнар. наук.-техн. конф. (Кривий Ріг, 24—26 трав. 2017 р.) / Криворізький нац. ун-т. — Кривий Ріг, 2017. — С. 85—87.
9. Прилепа Д.Н., Евтехов В.Д., Евтехова А.В. Некоторые минералогические особенности маршаллитов Южного железорудного района Криворожского бассейна // Геол.-мінерал. вісн. Криворіз. нац. ун-ту. — 2016. — № 1 (35). — С. 15—26.
10. Прилепа Д.М., Смирнов О.Я., Евтехов В.Д. Маршаліти кори вивітряння залізистих кварцитів Валявкінського родовища Кривбасу // Проблеми теоретичної і прикладної мінералогії, геології, металогенії гірничодобувних регіонів : Матеріали ІХ Міжнар. наук.-практ. конф. (Кривий Ріг, 27—29 лист. 2014 р.) / Криворізький нац. ун-т. — Кривий Ріг, 2014. — С. 70—72.
11. Прилепа Д.Н., Смирнов А.Я., Евтехов В.Д., Біленко А.Е. Геологическая модель образования тел маршаллитов в складчатых структурах коры выветривания железорудной толщи Криворожского бассейна // Сучасна геологічна наука і практика в дослідженнях студентів і молодих фахівців : Матеріали ХІ Всеукр. наук.-практ. конф. (Кривий Ріг, 26—28 берез. 2015 р.) / Криворізький нац. ун-т. — Кривий Ріг, 2015. — С. 151—154.
12. Смирнов О.Я., Евтехов В.Д., Евтехов С.В. Мінералогічна неоднорідність покладів гематитових кварцитів Криворізького басейну (на прикладі Валявкінського родовища) // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту. Сер. геол., географ. — 2012. — Вип. 14. — С. 22—27.
13. Тохтуйев Г.В., Борисенко В.Г., Титлянов А.А. Физико-механические свойства горных пород Кривбасса. — Киев : Гостехиздат, 1962. — 102 с.

Надійшла 31.07.2017

REFERENCES

1. Baron, L.I., Konyashin, Yu.G. and Kurbatov, V.M. (1963), *Crushing of rocks*, Publ. house of SSSR Acad. of Sci., Moscow, RU, 168 p.
2. Belevtsev, R.Ya., Belevtsev, Ya.N., Borisenko, V.G., Drozdovskaya, A.A., Yepatko, Yu.M., Zankevich, B.A., Kalinichenko, O.A., Koval, V.B., Korzhnev, M.N., Kravchenko, V.M., Kulik, D.A., Kusheyev, V.V., Lazurenko, V.I., Litvinskaya, M.A., Nikolayenko, V.I., Pikovskiy, Ye.Sh., Pirogov, B.I., Prozhogin, L.G., Savchenko, L.T., Samsonov, V.A., Skvortsov, V.V., Stebnovskaya, Yu.M., Tereshchenko, S.I., Chaykin, S.I., Yaroshchuk, M.A. (1991), *Precambrian banded iron formations of the European part of the USSR. Iron ores genesis*, Nauk. dumka, Kyiv, UA, 216 p.
3. Belevtsev, Ya.N., Tokhtuyev, G.V., Strygin, A.I., Melnik, Yu.P., Kalyaev, G.I., Fomenko, V.Yu., Zagoruyko, L.G., Molyavko, G.I., Polovko, N.I., Dovgan, M.N., Ladieva, V.D., Zhukov, G.V., Epatko, Yu.M. and Shcherbakov, B.D. (1962), *Geology of Kryvyi Rih iron ore deposits*, Publ. House of UkrSSR Acad. of Sci., Kyiv, UA, Vol. 1, 484 p., Vol. 2, 567 p.
4. Dodatko, A.D. (1979), *Reports of UkrSSR Acad. of Sci., Ser. B*, No. 2, Kyiv, UA, pp. 83-87.
5. Evtekhov, V.D. (1997), *Vidomosti Akademiyi Hirnychukh Nauk Ukrayiny*, No. 4, UA, pp. 111-114.
6. Evtekhova, A.V., Smirnov, O.Ya. and Prylepa, D.M. (2012), *Proc. of Intern. sci.-techn. conf., Kryvyi Rih, 22-25 May 2012*, Kryvyi Rih National Univ. press, UA, pp. 66-71.
7. Lazarenko, E.K., Hershoyh, Yu.G., Buchynskaya, N.I., Belevtsev, R.Ya., Voznyak, D.K., Galaburda, Yu.A., Galiy, S.A., Kvasnytsya, V.M., Kulchytska, G.O., Melnik, Yu.P., Melnikov, V.S., Pavlyshyn, V.I., Pirogov, B.I. and Turkevich, G.I. (1977), *Mineralogy of Krivoy Rog basin*, Nauk. dumka, Kyiv, UA, 544 p.
8. Prylepa, D.M. (2017), *Materials of the Intern. sci. and techn. conf., Kryvyi Rih, May 24-26, 2017*, Kryvyi Rih National Univ. press, UA, pp. 85-87.
9. Prylepa, D.N., Evtekhov, V.D. and Evtekhova, A.V. (2016), *Geology and Mineralogy Bulletin of Kryvyi Rih National Univ.*, No. 1 (35), Kryvyi Rih, UA, pp. 15-26.
10. Prylepa, D.M., Smirnov, O.Ya. and Evtekhov, V.D. (2014), *Proc. of IX Intern. sci. and pract. conf., Kryvyi Rih, 27-29 Novem. 2014*, Kryvyi Rih National Univ. press, UA, pp. 70-72.
11. Prylepa, D.N., Smirnov, O.Ya., Evtekhov, V.D. and Bilenko, A.E. (2015), *Proc. of XI All-Ukrainian sci. and pract. conf., Kryvyi Rih, 26-28 March 2015*, Kryvyi Rih National Univ. press, UA, pp. 151-154.
12. Smirnov, O.Ya., Evtekhov, V.D. and Evtekhov, E.V. (2012), *Bulletin of Dnipropetrovsk National Univ., Geology, geography series*, No. 14, Dnipropetrovsk, UA, pp. 22-27.
13. Tokhtuev, G.V., Borisenko, V.G. and Titlyanov, A.A. (1962), *Physical and mechanical properties of Krivbass rocks*, Gostehizdat, Kyiv, UA, 102 p.

Received 31.07.2017

Д.Н. Прилепа, В.Д. Евтехов

Государственное высшее учебное заведение
"Криворожский национальный университет"
50002, г. Кривой Рог, Украина, ул. Виталия Матусевича, 11
E-mail: prilepa.dm@gmail.com, evtekhov@gmail.com

ВЛИЯНИЕ МАРШАЛЛИТИЗАЦИИ НА НЕКОТОРЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГЕМАТИТОВЫХ КВАРЦИТОВ КРИВОРОЖСКОГО БАССЕЙНА

Гематитовые кварциты — продукт выветривания первичных метаморфогенных магнетитовых кварцитов, которыми сложены железистые горизонты продуктивной саксаганской свиты Криворожского бассейна. Главная тенденция гипергенных изменений магнетитовых кварцитов — уменьшение их минералогического разнообразия: переход от первичных полиминеральных ассоциаций к би- (гематит + кварц) или триминеральным (гематит + кварц + каолинит) ассоциациям гематитовых кварцитов. В настоящее время гематитовые кварциты изучают как перспективное сырье для производства высококачественного железорудного концентрата. Одно из направлений исследований — определение неоднородности залежей гематитовых кварцитов, в том числе связанных с присутствием тел гематитовых маршаллитов. В залежах гематитовых кварцитов Южного железорудного района Кривбасса (Скелеватское и Валявкинское месторождения), которые были наиболее детально изучены авторами статьи, количество гематитовых маршаллитов достигает 20 % от общей массы залежей гематитовой сырья. Изучен материал 320 проб гематитовых кварцитов, в том числе неизменных и слабо, средне, сильно маршаллитизированных, а также гематит-кварцевой "сыпучки" — конечного продукта маршаллитизации гематитовых кварцитов. По результатам химических и минералогических исследований, определения физических и технических характеристик материала изученных проб, были установлены главные тренды изменения плотностных и прочностных показателей гематитовых кварцитов в связи с маршаллитизацией. С нарастанием интенсивности маршаллитизации, в связи с вынесением железа, происходит постепенное уменьшение плотности гематитовых кварцитов — от 4060,69 кг/м³ для неизменных разновидностей; через 4044,54 и 4013,42 кг/м³ для слабо и средне измененных до 3994,30 и 3979,26 кг/м³ для сильно и очень сильно маршаллитизированных. С изменением структуры гематитовых кварцитов отмечается значительное увеличение их пористости — от 4,40 % для неизменных гематитовых кварцитов до 22,18 % для гематит-кварцевой "сыпучки". Показатели объемной массы гематитовых кварцитов с повышением активности маршаллитизации уменьшаются гораздо интенсивнее, чем показатели плотности. Причина заключается в том, что на показатели объемной массы влияет не только общее уменьшение содержания железа в составе гематитовых кварцитов, но и (в большей степени) рост их пористости. Увеличение пористости вызывает уменьшение прочности гематитовых кварцитов — от 13,86 баллов (по М.М. Протодюяконову) для неизменных разновидностей до 2,51 баллов для гематит-кварцевой "сыпучки". Полученные данные могут быть использованы для минералогических, петрохимических исследований маршаллитов, решения практических задач подсчета запасов гематитового сырья, определения его качественных показателей и разработки оптимальных технологий добычи бедных гематитовых руд; их усреднения перед подачей на обогатительные фабрики и составления технологических схем производства высококачественного гематитового концентрата.

Ключевые слова: железисто-кремнистая формация, Криворожский бассейн, кора выветривания, маршаллитизация, показатели плотности, показатели пористости, показатели прочности.

D.M. Prylepa, V.D. Evtekhov

State institution of higher education
"Kryvyi Rih National University"
11, Vitaliy Matusevich Str., Kryvyi Rih, Ukraine, 50002
E-mail: prilepa.dm@gmail.com, evtekhov@gmail.com

INFLUENCE OF MARSHALLITIZATION ON SOME PHYSICAL PROPERTIES OF THE KRYVYI RIH BASIN HEMATITE QUARTZITES

Hematite quartzites are a product of weathering of primary metamorphic magnetite quartzites, which compose the ferrous horizons of productive Saksagan suite of the Kryvyi Rih basin. The main tendency of magnetite quartzites hypergenic changes was a decrease in their mineralogical diversity: the transition from primary polymineral associations to bimineral (hematite + quartz) or trimineral (hematite + quartz + kaolinite) associations of hematite quartzites. At present, hematite quartzites are studied as promising raw material for the production of high-quality iron concentrate. One of the research areas is the determination of the heterogeneity of the hematite quartzite deposits, including those associated with the presence of hematite marshallites. In the deposits of hematite quartzites of the Southern iron ore district of Kryvbas (Skelyuvatske and Valyavkynske deposits), which were most thoroughly studied by the authors of this article, the amount of hematite marshallites reaches 20 % of the total mass of hematite deposits. The material of 320 samples of hematite quartzites,

including unmodified and weakly, moderately, intensively marshallitized, as well as hematite-quartz "powder", which is the final product of hematite quartzites marshallitization, was studied. According the results of chemical and mineralogical studies, the definition of the physical and technical characteristics of the material of the samples studied, the main trends in the variation of the density and strength parameters of hematite quartzites in connection with marshallitization were determined. With the increase in the intensity of marshallitization in connection with the removal of iron, the density of hematite quartzites gradually decreases, from 4060.69 kg/m³ for unchanged varieties through 4044.54 and 4013.42 kg/m³ for weakly and moderately altered to 3994.30 and 3979.26 kg/m³ for intensively and very intensively marshallitized ones. With the change in the structure of hematite quartzites a significant increase in their porosity occurs — from 4.40 % for unchanged hematite quartzites to 22.18 % for hematite-quartz "powder". The indicators of the bulk mass of hematite quartzites with increasing marshallitization activity decrease much more intensively in comparison with the density values. The reason is that the volumetric mass index is affected not only by a general decrease in the iron content in hematite quartzites, but also (to a greater extent) by an increase in its porosity. An increasing of the porosity causes a decreasing of strength of hematite quartzites — from 13.86 points after M.M. Protodyakonov for unchanged varieties to 2.51 points of hematite-quartz "powder". The obtained data can be used for mineralogical, petrochemical studies of marshallites, for solving practical problems of calculating hematite raw material reserves, determining its qualitative indices and developing optimal technologies for the extraction of low-grade hematite ores, their blending before their feeding to concentrating mills and developing a flow sheet for the production of high-quality hematite concentrate.

Keywords: banded iron formation, Kryvyi Rih basin, crust of weathering, marshallitization, density indices, porosity indices, strength indicators.