

УДК 553.31:622.7

**ЖЕЛЕЗИСТЫЕ КВАРЦИТЫ КИМКАНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ
И ИХ ОБОГАЩЕНИЕ**

Т. Н. Гзогян, С. Р. Гзогян

*Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
E-mail: mehanobr1@yandex.ru, ул. Победы, 85, 308015, г. Белгород, Россия*

Приведены результаты изучения минералого-технологических свойств железистых кварцитов Кимканского месторождения. Показана значительная неоднородность состава и свойств основного рудного минерала — магнетита, которые необходимо учитывать в процессе переработки и особенно при выборе способа рудоподготовки.

Железистые кварциты, магнетит, гематит, ЯГР-спектроскопия, микротвердость, измельчаемость, обогатимость

Железистые кварциты Кимканского месторождения (Еврейская АО) рассматриваются как сырьевая база ООО “Кимкано-Сутарский ГОК”. Утвержденные на Кимканском месторождении запасы представлены неокисленными и окисленными железистыми кварцитами [1]. Наиболее распространены неокисленные: на Центральном участке — 85.2%, на Западном — 62.3, на Майском — 36.5% от общих запасов; на Совхозном все кварциты окисленные.

Для исследований наибольший интерес представляют неокисленные железистые кварциты, сложенные существенно магнетитовыми и магнетит-гематитовыми кварцитами. По главным минералам среди неокисленных кварцитов на месторождении выделены основные минералогическо-петрографические разновидности: магнетитовые, гематито- и силикатно-магнетитовые и силикатно-гематито-магнетитовые.

Объектом исследований являлись неокисленные железистые кварциты в виде образцов керновых проб (125 шт.), которые охватывают все участки месторождения и отражают наиболее представительные текстурно-структурные и минералогические особенности кварцитов месторождения. Изучение особенностей состава и свойств отобранных проб проводилось с применением оптической микроскопии, ЯГР-спектроскопии, высокотемпературной магнитометрии, микрзондирования. Из физических, физико-механических и технологических свойств выполнено определение микротвердости минералов, магнитных свойств, прочностных, измельчаемости, обогатимости.

Минералогическо-технологическое и текстурно-структурное изучение образцов железистых кварцитов показало, что основные породообразующие минералы представлены магнетитом, гематитом (кроме них встречается мартит и гидроксиды железа), кварцем, амфиболами, второстепенные — карбонатами, слюдами, сульфидами (преимущественно пирит и пирротин, редко халькопирит). Частота вкраплений рудных минералов варьирует в широких пределах от гус-

той, почти сплошной, через равномерную насыщенность до рассеянно-редкой и даже единичных зерен. Структура кварцитов тонко кристаллическая зернистая, среди которой можно выделить по размеру зерен: средне-, мелко- и тонкозернистая; по форме зерен: аллотриоморфнозернистая, реже гипидиоморфнозернистая, пластинчатая, игольчатая.

Магнетит — основной рудный минерал — представлен как отдельными зернами, так и агрегатами, массовая доля минерала колеблется от 1 до 80 % (в среднем 30 %) (рис. 1). Модуль магнитности ($Fe_{\text{общ}}/Fe_{\text{магн}}$) в кварцитах изменяется в широких пределах от 0.6 до 0.91. Форма зерен магнетита субидиоморфная, в магнетитовых прослоях магнетит образует полигональные агрегаты, форма которых неоднородна. Размер зерен магнетита варьирует от 0.001 до 0.08 мм, преобладают зерна размером от 0.01 до 0.08 мм.

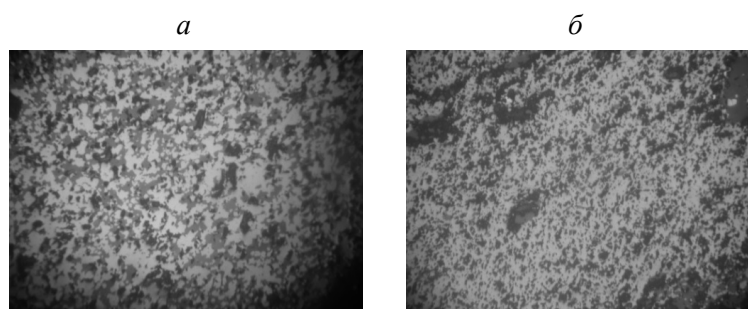


Рис. 1. Рудный прослой: вкрапленные зерна магнетита (а) и агрегаты магнетита (б), ув. 190

Для рудных прослоев характерны тонкозернистые (0.001–0.08 мм) и мелкозернистые (0.01–0.4 мм) агрегаты магнетита, а также неравномерно-рассеянная вкрапленность размером от 0.001 до 0.4 мм. Для агрегатов магнетита характерно наличие микровключений и пойкилитовых прорастаний с кварцем. В тонкозернистых агрегатах наблюдается тесное взаимное прорастание с нерудными минералами зерен магнетита и гематита.

В мелкозернистых агрегатах зерна и скопления магнетита размером 0.01–0.4 мм или разобщены нерудными минералами размером 0.05–0.2 мм или нерудные минералы образуют в зернах магнетита тонкие включения размером 0.001–0.05 мм. Местами наблюдается замещение магнетита гематитом и гетитом (рис. 2а).

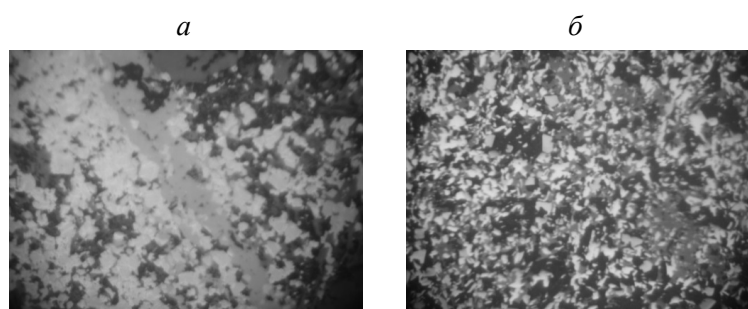


Рис. 2. Замещение магнетита гематитом и гетитом (а), гематит-магнетитовые агрегаты в рудном прослое (б), ув. 190

Основная масса магнетита тесно срастается с кварцем, их границы весьма неровные, с бухтами и заливами одного минерала в другой. В более крупных агрегатах размером 0.1–0.2 мм присутствуют включения кварца, осложняющие раскрытие минерала. Кроме кварца, характерно срастание магнетита с амфиболом, карбонатом, реже пиритом. При этом вкрапления магне-

тата в пирит приобретают форму, близкую к идиоморфной. Технологическими исследованиями установлено, что магнетит раскрывается в крупности -0.045 мм, где степень его раскрытия составляет до 92%, но даже при измельчении до этой крупности магнетит остается на 3.5–10% в сростках с нерудными минералами.

Вторым по значению рудным минералом является гематит, по количеству он уступает магнетиту, его массовая доля составляет около 15%. Для него характерны не только вкрапления, но и сливные агрегаты, слагающие полосы размером 0.5–1 мм, чередующиеся с амфиболовыми. Гематит образует скопления как внутри магнетитовых прослоев (развивается по зернам магнетита или между агрегатами магнетита), так и совместно с карбонатом и амфиболом среди рудных прослоев (рис. 2б). Размер зерен гематита колеблется от 0.001 до 0.05 мм, преобладают зерна игольчато-чешуйчатого гематита размером от 0.005 до 0.05 мм, основная масса которых имеет размер от 0.002 до 0.02 мм.

Удлиненно-чешуйчатые агрегаты гематита размером от 0.01 до 0.5 мм имеют субпараллельную слоистость. Гематит наблюдается преимущественно в тесном прорастании с магнетитом и нерудными минералами, образуя в последних тонкие включения, редко скопления размером до 0.1–0.2 мм. В меньшем количестве встречается тонкораспыленный в нерудных минералах первичный гематит с размером включений от 0.001 до 0.005 мм.

В целом для гематита характерна тесная связь с кварцем, реже с магнетитом и амфиболами. Степень раскрытия гематита низкая — первые свободные зерна появляются только в классе крупности $-0.1 + 0.071$ мм, а в классе крупности -0.045 мм их всего лишь около 30%. Это является следствием значительных по длине агрегатов гематита (до 0.5 мм), но весьма тонких (0.005–0.01 мм), неровных, сильно волнисто изгибающихся, секущих агрегатов кварца, с проникновением их внутрь зерна.

Мартит наблюдается в зернах магнетита в виде иголочек по октаэдрическим плоскостям и в тонких каемочках размером 0.01–0.02 мм по краям зерен магнетита, реже в виде зерен и скоплений размером 0.05–0.2 мм среди агрегатов магнетита.

Гидроксиды железа присутствуют в незначительном количестве и представлены в основном плотными разностями гидрогетита и гетита размером не более 0.01–1 мм, замещающими магнетит и пирит. Рыхлые красновато-бурые охры в виде налетов по межплоскостным трещинкам встречаются редко и по составу близки к лимониту.

Отмечено наличие сульфидов, которые представлены преимущественно пиритом и пирротинном, реже халькопиритом. Размер пиритовых агрегатов от 0.01 до 0.9 мм ксеноморфной или субидиоморфной формы, переполненных микровключениями магнетита и кварца. Нередко пирит заполняет жилки, выполняя роль цемента среди кварц-магнетитовых агрегатов (рис. 3а). Для зерен пирита характерна трещиноватость, в участках с повышенной трещиноватостью агрегаты пирита более свободны от микровключений. Границы между магнетитом и пиритом слабо извилистые.

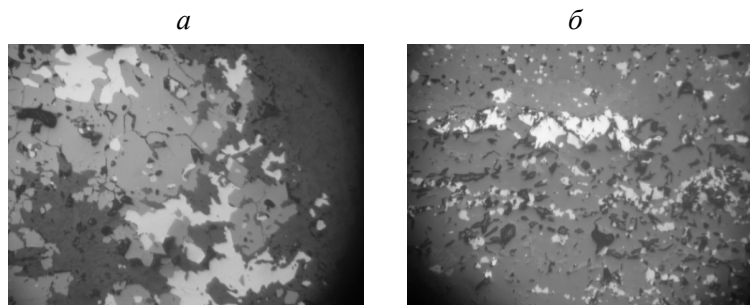


Рис. 3. Пойкилитовые включения сульфидов в магнетите (а), пирротиновые агрегаты в сростании с магнетитом (б), ув. 190

Встречаются ксеноморфные и гипидиоморфные агрегаты пирротина размером от 0.01 до 0.5 мм. Границы срастания с магнетитом преимущественно ровные, реже слегка извилистые (рис. 3б). Нередко пирротин развивается по силикатам. В единичных случаях встречается халькопирит размером не более 0.01–0.2 мм.

Из нерудных минералов преобладает кварц, в незначительном количестве — амфиболы, в меньшем — карбонаты, альбит, хлорит, гранат.

Кварц наблюдается в виде включений в карбонатных слойках, образует секущие прожилки размером 0.01–3 мм в ассоциации с хлоритом, амфиболами, карбонатами и сульфидами. Зерна кварца имеют неправильную, изометричную и вытянутую форму. Преобладают тонкозернистые агрегаты кварца размером 0.005–0.05 мм, реже встречаются скопления зерен размером 0.05–0.2 мм. Для зернистых агрегатов кварца характерно тесное тонкое прорастание с амфиболами, апатитом, хлоритом и рудными минералами, что осложнит вскрытие рудных минералов при измельчении.

Кварцевые прослои выполнены тонкозернистым кварцем и переполнены рудными включениями. В этих прослоях магнетит образует рассеянные вкрапления до 15% объема породы размером от 0.013 до 0.04 мм (рис. 4).

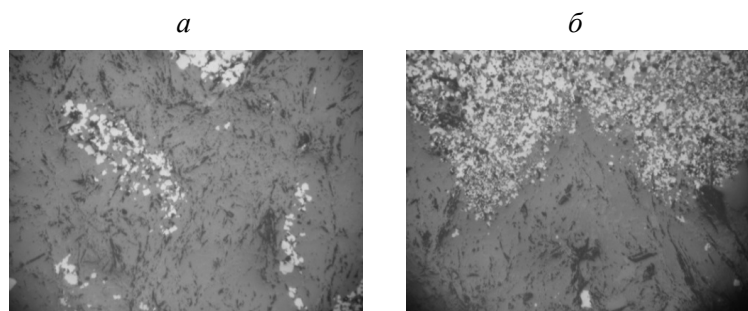


Рис. 4. Нерудный прослой: рассеянная вкрапленность магнетита среди кварца и силикатов, ув. 190

Для кварцитов Кимканского месторождения характерно присутствие тонких включений апатита размером не более 0.01–0.05 мм, рассеянного среди зерен кварца, амфиболов, карбонатов, магнетита и гематита и тесно прорастающего как с нерудными, так и с рудными минералами, что затруднит в дальнейшем получение бесфосфористых концентратов. Массовая доля фосфора в кварцитах составляет до 0.3%, коэффициент фосфористости варьирует от 56.1 до 90.3.

Для железистых кварцитов месторождения характерен кислый состав вмещающих пород ввиду высокой массовой доли диоксида кремния (до 43%) и низкой оксида магния (до 4%) и кальция (до 3%). Фазовым анализом выявлено, что рудное железо в кварцитах составляет от 89.5 до 96% (табл. 1).

ТАБЛИЦА 1. Усредненный фазовый состав неокисленных кварцитов

Форма проявления железа	Массовая доля, %	
	абсолютная	относительная
Железо общее	32.1–35.4	100
Железо рудное, связанное:	28.7–33.5	89.5–96.0
с магнетитом	19.0–27.1	53.6–84.5
с мартитом	0.03–3.1	0.03–8.85
с гематитом и гидроксидами железа	1.6–11.3	5.0–33.0
с силикатами	1.3–3.3	5.3–10.3
с сульфидами	0.07–0.08	0.07–0.25

Количественный анализ железосодержащих фаз (магнетита, гематита) определялся с помощью ЯГР-спектроскопии. Спектры снимались на спектрометре MS-1104Em с использованием источника Co^{57} в матрице родия, изомерный сдвиг рассчитывался относительно α -Fe. Содержание железосодержащих фаз определено по площадям S компонентов спектров (рис. 5а). ЯГР-спектроскопией установлено, что подавляющее большинство кристаллов, представленных оксидами железа, относится к магнетиту и гематиту, но отсутствие периодичности в расположении некоторых рефлексов свидетельствует о наличии дефектов и дислокаций в решетке магнетита, обобщенная формула которого имеет вид: $Fe^{3+} [Fe^{3+} Me 0.024 Fe^{2+} 0.976]$.

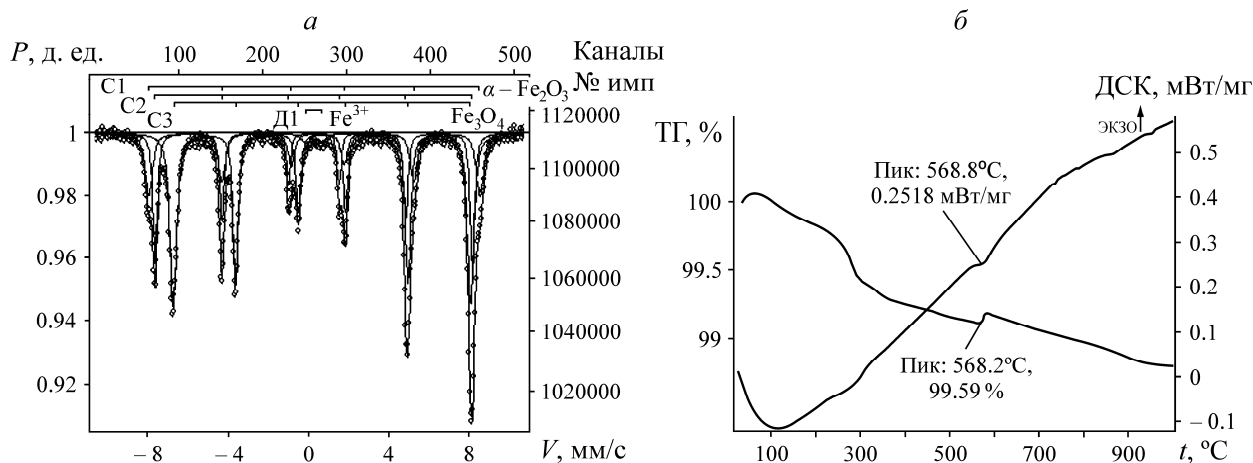


Рис. 5. Характерный ЯГР-спектр (а) и кривые термического анализа (б) магнетита

Согласно параметрам спектров ЯГР, суммарная массовая доля магнетита в кварцитах варьирует от 73.5 до 96.7, гематита — от 6.5 до 21.8, парамагнитной фазы — от 1.8 до 6.9 % (табл. 2). Микронзондовый анализ показал дефицит железа в зернах магнетита, массовая доля которого колеблется от 71 до 71.6 %, изоморфные примеси представлены MnO и Al_2O_3 .

ТАБЛИЦА 2. Характерные параметры ЯГР-спектров

Проба	Компонент спектра	δ , мм/с	Δ , мм/с	H , А/м	S , %	Интерпретация
1	S1(Fe^{3+})	0.38	-0.17	512	21.8	Гематит
	S2(Fe^{3+})	0.27	0	490	26.1	Магнетит
	S3($Fe^{3+} + Fe^{2+}$)	0.67	0.01	460	50.4	
	D1(Fe^{3+})	0.26	0.8	0	1.7	Т/д оксиды Fe
2	S1(Fe^{3+})	0.38	-0.22	516	6.5	Гематит
	S2(Fe^{3+})	0.27	-0.01	491	33.9	Магнетит
	S3($Fe^{3+} + Fe^{2+}$)	0.67	0.01	460	59.6	
	S2(Fe^{3+})	0.27	-0.01	491	34.5	Магнетит
	S3($Fe^{3+} + Fe^{2+}$)	0.67	0.01	459	62.2	
3	S1(Fe^{3+})	0.38	-0.17	515	20.5	Гематит
	S2(Fe^{3+})	0.27	0	491	26.5	Магнетит
	S3($Fe^{3+} + Fe^{2+}$)	0.67	0.01	460	50.2	
	D1(Fe^{3+})	0.35	0.74	0	2.8	Т/д оксиды Fe
4	S1(Fe^{3+})	0.37	-0.13	515	19.7	Гематит
	S2(Fe^{3+})	0.27	-0.01	491	27.7	Магнетит
	S3($Fe^{3+} + Fe^{2+}$)	0.67	0	461	45.8	
	D1(Fe^{2+})	1.18	2.61	0	3.5	Силикат с Fe^{2+}
	D2(Fe^{3+})	0.39	0.52	0	3.4	Т/д оксиды Fe

Примечание. δ — Изомерный сдвиг; Δ — квадрупольное расщепление; H — напряженность магнитного поля на ядрах Fe^{57} ; т/д — тетраэдрические

Данные высокотемпературной магнитометрии подтверждают отличие магнетитов месторождения (температура Кюри $T_c = 568.5 - 572^\circ$) от стехиометрического ($T_c = 585^\circ\text{C}$) магнетита (табл. 3). Значение точки Кюри указывает на недостаток ионов Fe^{2+} (рис. 5б). Изменение соотношения Fe^{3+} и Fe^{2+} , как правило, обуславливает и невыдержанность магнитных свойств магнетита, которые являются одним из важнейших факторов, влияющих на обогатимость кварцитов методом магнитной сепарации [2].

ТАБЛИЦА 3. Сопоставление данных мессбауэровской спектроскопии и температуры Кюри образцов магнетита

Образец	1	2	3	4	5	6	7
S_A/S_B	0.52	0.57	0.55	0.53	0.60	0.53	0.51
$T_c, ^\circ\text{C}$	571	569	570	572	568.5	571	572

Примечание. S_A и S_B — площади в спектре от ионов железа тетраэдрических и октаэдрических позиций соответственно

Измерение магнитной восприимчивости выполнено на измерителе магнитной восприимчивости KLF-4 (Чехия). Удельная магнитная восприимчивость кварцитов колеблется в широком диапазоне от $70 \cdot 10^{-3}$ до $1 \cdot 10^{-3}$ ед. СИ, что объясняется различной массовой долей магнетита и его различной степенью мартитизации. Коэрцитивная сила магнетита варьирует от 8.8 до 13.2 кА/м.

По величине магнитной восприимчивости кварциты можно разделить на три группы: сильномагнитные $\chi_{\text{cp}} = 30 - 70 \cdot 10^{-3}$ ед. СИ (магнетитовые, гематит-магнетитовые); среднемагнитные $\chi_{\text{cp}} = 10 - 50 \cdot 10^{-3}$ ед. СИ (бедные магнетитовые, гематит-магнетитовые) и слабомагнитные $\chi_{\text{cp}} = 1 - 8 \cdot 10^{-3}$ ед. СИ (магнетит-гематитовые, гематитовые, мартитовые). Следует отметить, что отдельные разности мартитовых руд обладают магнитной восприимчивостью до $50 \cdot 10^{-3}$ ед. СИ, что можно объяснить их слабой степенью окисления.

Коэффициент неоднородности магнетита в изученных пробах подтверждает значительную неоднородность минерала и колеблется от 0.66 до 0.83. Магнетит — весьма чувствительный индикатор условий образования месторождения, и изучение вариации состава магнетита имеет существенное значение для прогноза технологических показателей обогащения при переработке кварцитов. Заметим, что весьма неоднородными являются магнетиты, связанные с незавершенными процессами мартитизации.

Для оценки прочностных свойств минералов выбран метод микроиндентирования. Для определения микротвердости (МТ) использован метод Виккерса, как наиболее универсальный и отличающийся повышенной точностью, методика измерений подробно изложена в [3]. МТ минералов отражает условия их образования и зависит в большей степени от структурных особенностей, что позволяет считать этот показатель типоморфным.

МТ основного минерала магнетита в кварцитах варьирует от 540 до 630 Па, в среднем составляя 586.5 Па, гематита — от 852 до 877 Па, в среднем — 851.7 Па. Форма отпечатков магнетита преимущественно ровная, в редких случаях прослеживались вертикальные трещинки, идущие от углов отпечатка в направлении продолжения диагоналей. По пятибалльной шкале хрупкости минералов магнетиту можно присвоить степень хрупкости — пластичный [4].

Доминантным минералом железистых кварцитов является кварц, он же самый крепкий из всех слагающих кварциты минералов, его МТ варьирует в пределах от 1285 до 1734 Па, в среднем составляя 1428 Па (табл. 4). Отпечатки четкие, часто по краям отпечатка наблюдаются трещинки и раковистый скол, что указывает на хрупкость кварца.

ТАБЛИЦА 4. Значения микротвердости основных минералов месторождения, Па

Разновидность	Магнетит	Мартит	Гематит	Мушкетовит	Кварц	Пирит	Пирротин
Магнетитовая	540 – 630	—	—	—	1285 – 1642	1510 – 1785	265 – 398
Мартитовая	—	546	—	—	1408 – 1734	—	—
Гематитовая	602	—	852	—	1295	—	—
Магнетит-гематитовая	592 – 625	—	877	—	1285 – 1540	1683	—
Гематит-магнетитовая	625	—	857	918	1571	—	—

МТ пирита изменяется от 1510 до 1785 Па и в среднем составляет 1606 Па. Отпечатки нечеткие, по краям отпечатка образуется множество микротрещинок, в некоторых участках происходит растрескивание зерна, что также подчеркивает его хрупкость.

Сопоставляя значения МТ минералов, можно предположить, что осуществить в результате рудоподготовки преимущественное разрушение железистых кварцитов по границе контактирования магнетит – кварц проблематично. Например, значения МТ кварца Лебединского месторождения — до 1236, магнетита — до 530, Стойленского кварца — до 1410, магнетита — до 512, Приоскольского кварца — до 1326, магнетита — до 577, Михайловского кварца — до 1601, магнетита — до 599 Па; на границе срастания магнетита с кварцем со стороны магнетита МТ для Лебединского месторождения составила 551, Стойленского — 520, Приоскольского — 623, а для Михайловского — 1312 и Кимканского — 1058 Па.

Имеющиеся специфические особенности минерального состава, значительной неоднородности состава и свойств магнетита влияют на изменчивость степени его окисления в процессе измельчения, эффективность флокуляции переизмельченных частиц и, как следствие, на технологические показатели обогащения. В обогатительном переделе при измельчении рудной шихты, особенно шаровом, возможны фазовые превращения за счет окисления части магнетита, что может вызывать дебаланс магнетита и повышенные его потери с отвальными хвостами, так как при шаровом измельчении дислокации распределяются по всему объему материала [5].

Оценка технологических свойств кварцитов месторождения выполнена по показателям измельчаемости и обогатимости. Крепость по Протодьяконову определена в соответствии с ГОСТ 21153.1. Анализ результатов показал, что кварциты можно отнести к средней крепости, коэффициент крепости колебался от 9 до 18. Критерием оценки измельчаемости проб служила удельная производительность лабораторной мельницы по вновь образованному классу (q , кг/(л·ч)) – 0.071 мм (для I стадии измельчения) и – 0.045 мм (для II и III стадии измельчения).

Определение измельчаемости кварцитов проведено для неокисленных кварцитов Михайловского месторождения КМА по стандартной методике. Выполненные исследования по измельчаемости свидетельствуют о том, что кварциты Кимканского месторождения измельчаются лучше кварцитов Михайловского месторождения (табл. 5). Изученные образцы керновых проб кварцитов по коэффициенту относительной измельчаемости разделены на сорта легко- (> 1.2), средне- (0.8 – 1.2) и трудноизмельчаемые (< 0.8).

Обогатимость кварцитов выполнена в соответствии с ГОСТ 25114. За критерий обогатимости взята массовая доля железа общего в лабораторном концентрате при крупности измельчения 98 % класса – 0.05 мм. По изученным пробам кварциты месторождения по обогатимости подразделены на сорта: легко-, средне-, трудно- и весьма труднообогатимые (табл. 6).

По имеющейся в проекте технологической схеме предполагается получать магнетитовый концентрат при измельчении до 98 % класса – 0.045 мм с массовой долей железа 65.5 %, что в пересчете на 98 % класса – 0.05 мм составляет 63.1 %.

ТАБЛИЦА 5. Результаты определения относительной измельчаемости $K_{изм}$

I стадия измельчения			II стадия измельчения				III стадия измельчения				
$t_{изм},$ мин	$q, \text{кг}/(\text{л}\cdot\text{ч})$		$K_{изм}$	$t_{изм},$ мин	$q, \text{кг}/(\text{л}\cdot\text{ч})$		$K_{изм}$	$t_{изм},$ мин	$q, \text{кг}/(\text{л}\cdot\text{ч})$		$K_{изм}$
	Ким- канское	Михай- ловское			Ким- канское	Михай- ловское			Ким- канское	Михай- ловское	
3	0.82	0.76	1.08	10	0.28	0.22	1.27	10	0.17	0.13	1.31
6	0.75	0.70	1.07	20	0.19	0.17	1.12	20	0.13	0.10	1.30
9	0.72	0.68	1.06	25	0.16	0.14	1.14	25	0.10	0.08	1.25
12	0.68	0.60	1.13	30	0.14	0.11	1.27	30	0.08	0.07	1.14
15	0.58	0.52	1.11	35	0.11	0.09	1.22	40	0.06	0.048	1.25
18	0.57	0.46	1.24	40	0.09	0.08	1.12	50	0.043	0.04	1.07

Примечание. q — удельная производительность лабораторной мельницы по вновь образованному классу

ТАБЛИЦА 6. Классификация кварцитов по обогатимости

Массовая доля железа в концентрате при измельчении до 98 % – 0.05 мм, %	Сорт по обогатимости	Массовая доля железа в концентрате при измельчении до 98 % – 0.045 мм, %
> 65	Легкообогатимые	> 67
61.5 – 65	Среднеобогатимые	64 – 67
57.5 – 61.5	Труднообогатимые	61 – 64
< 57.5	Весьма труднообогатимые	< 61

По выходу (продуктивности) лабораторного концентрата при измельчении до 98 % класса – 0.05 мм изученные кварциты разделены на сорта: весьма продуктивные (> 44 %), продуктивные (40–44 %) и малопродуктивные (< 40 %).

Минералого-технологическое изучение магнетитового концентрата показало, что преимущественно в него извлекается магнетит (до 62 %), который в основном мартитизирован. В магнетите встречаются редкие и тонкие включения апатита размером 0.01–0.02 мм и иголки мартита. Чешуйки гематита наблюдаются в основном в сростках с нерудными минералами. Из нерудных минералов в концентрат извлекаются кварц, амфиболы, хлорит и карбонаты с пойкилитовыми включениями магнетита и гематита. В хвосты мокрой магнитной сепарации извлекаются кварц и карбонаты в свободном виде, реже амфиболы, хлориты и апатит. Рудные минералы (до 10 %) присутствуют в виде тонких и весьма тонких включений размером 0.001–0.02 мм в кварце, при этом преобладают тонкие включения гематита.

Ввиду присутствия в составе кварцитов мартита и гематита, с целью определения возможности выделения гематитового концентрата из хвостов мокрой магнитной сепарации (учитывая ее минеральный состав), выполнены исследования по схеме обратной катионной флотации гематита с перечисткой полученного концентрата и контрольной флотацией отвальных хвостов (табл. 7).

ТАБЛИЦА 7. Усредненный минеральный состав хвостов мокрой магнитной сепарации

Минерал	Массовая доля минерала, %
Магнетит	2.0 – 5.0
Гематит	3.5 – 30.5
Мартит	0.1 – 1.5
Гидроксиды железа	0.9 – 2.0
Гидроксиды марганца	0.1 – 0.5
Сульфиды (пирит, пирротин, халькопирит)	0.1 – 0.2
Силикаты (амфиболы, хлорит)	25.0 – 40.0
Карбонаты	2.0 – 6.0
Кварц	31.0 – 44.0
Апатит	2.0 – 2.5

Минералогическое изучение флотационного концентрата (гематитового) показало, что в нем преобладает гематит (до 70 %) в виде свободных чешуек и в сростках с кварцем, амфиболами, реже с карбонатами, апатитом. Магнетит в незначительном количестве (до 2.5 %) присутствует в виде включений размером 0.001–0.05 мм в кварце и амфиболах, в редких свободных зернах встречаются сульфиды, гидроксиды железа и марганца.

Наличие в кварцитах гематита, гидроксидов железа и ожелезненных силикатов обуславливает высокие потери железа с хвостами мокрой магнитной сепарации в слабом поле.

Технология обогатительной фабрики, принятая для неокисленных кварцитов Кимканского месторождения, предусматривает переработку по схеме трехстадиального измельчения до 95–98 % класса –0.045 мм, трехстадиальную мокрую магнитную сепарацию и дешламацию с доизмельчением магнитных промпродуктов, выделением стадийных хвостов и получением магнетитового концентрата с массовой долей железа общего 65.5–66, выходом около 32 % и извлечением железа общего в среднем 63.8 %. Массовая доля железа общего в хвостах превышает 21 %. Согласно результатам технологической проверки, извлечение магнетита не превышает уровня 97 %.

ВЫВОДЫ

Главный рудный минерал — магнетит — претерпел значительные изменения. Массовая доля железа общего в минерале изменяется от 71 до 71.6 %. Неоднородность состава и свойств магнетита оказывает влияние на механические и физические характеристики кварцитов, что влечет изменение не только технологических свойств (измельчаемость, обогатимость), но и технологических показателей обогащения.

Важной особенностью рудных минералов является тонкое и весьма тонкое вкрапление в нерудные, а также тесное с ними прораствание. Минеральный состав сложный, из вредных примесей присутствует апатит.

По физико-механическим показателям кварциты относятся к кварцитам средней прочности, по измельчаемости — к категории легко- и среднеизмельчаемым, по обогатимости — к труднообогатимым.

Учитывая текстурно-структурные особенности, физико-механические и технологические свойства кварцитов месторождения, при разработке основных технологических решений необходимо максимально установить и учитывать их специфические особенности, а также последние достижения в области разработки современных технологий и оборудования.

Отмечено, что кварциты Кимканского месторождения имеют отличия от кварцитов других месторождений, что необходимо учитывать при их переработке. В этой связи должен быть применен рациональный комплекс минералого-аналитических и технологических исследований, позволяющих рекомендовать наиболее эффективные методы рудоподготовки и обогащения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Железорудная база России / под ред. В. П. Орлова, И. А. Шевырева, Н. А. Соколова. — М.: ЗАО “Геоинформмарк”, 2001. — 848 с.
2. Гзогян Т. Н., Мельникова Н. Д. Структурное состояние породы — дополнительная возможность оценки технологических свойств железистых кварцитов // ФТПРПИ. — 2000. — № 6. — С. 94–101.
3. Гзогян Т. Н., Мельникова Н. Д. Влияние микротвердости основных минералов железистых кварцитов на технологические свойства // ФТПРПИ. — 2001. — № 3. — С. 112–122.
4. Ильинский Г. А. Определение микротвердости минералов методом вдавливания. — Л.: Изд-во ЛГУ, 1963. — 83 с.
5. Гзогян Т. Н. К вопросу генетической дефектности магнетита Михайловского месторождения КМА // Обогащение руд. — 2002. — № 3. — С. 29–33.

Поступила в редакцию 10/XII 2016