© В.В. Мосейкин, С.Х. Абсатаров, 2008

УДК 622:550.8

В.В. Мосейкин, С.Х. Абсатаров

МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ ЖЕЛЕЗИСТЫХ КВАРЦИТОВ ЛЕБЕДИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ И ЕГО ВЗАИМОСВЯЗЬ С ПРОЦЕССАМИ РАЗРУШЕНИЯ ПОРОД

Семинар № 1

Главными задачами изучения минерального состава железистых кварцитов месторождения являются:

- Изучение вещественного (химического и минерального) состава и структурно-текстурных особенностей кварцитов как руд и сырья для производства щебня;
- Определение геологических факторов и физико-механических параметров, определяющих их поведение при различных способах разрушения (взрыв, дробление, измельчение и др.);
- Расчет оптимальных показателей дробления кварцитов;
- Обоснование технологической схемы дробления железистых кварцитов и других вмещающих пород на щебень.

Вещественный состав и свойства железистых кварцитов в пределах Лебединского карьера разнообразны и обусловлены условиями их формирования.

Химический состав железистых кварцитов характеризуется высоким содержанием кремнекислоты, входящей в состав кварца, в меньшей степени силикатов. Окислы железа связаны с магнетитом, меньшая часть с гематитом и силикатами. В качестве второстепенных примесей присутствуют Al_2O_3,CaO, MgO, Na_2O, K_2O. Фосфор, сера, титан присутствуют в незначительных количествах.

Главные породообразующие минералы кварцитов представлены магнетитом, кварцем, куммингтонитом, в зонах ощелачивания – щелочным амфиболом и эгирином; второстепенные – биотитом, гематитом, карбонатами, тальком, актинолитом, калиевым полевым шпатом и др.; акцессорные – апатитом, турмалином, сфеном.

Горные породы Лебединского месторождения в пределах карьерного поля представлены тремя группами метаморфических пород (в порядке уменьшения распространенности): железистыми кварцитами, кварц-слюдистыми сланцами, кварцитопесчаниками и маломощными телами диоритовых порфиритов и гранитов.

По составу породообразующих и рудных минералов, генетическим, технологическим, текстурно-структурным особенностям и с учетом статистического распределения главных форм железа среди кварцитов выделяют ряд природных типов, краткая характеристика которых приведена ниже.

Железистые кварциты – мелко- и тонкозернистые породы полосчатых текстур, представленных чередованием кварцевых, силикатных и рудных слой-

ков различной ширины от 1-3 мм до 1,5 см и более. Основными минералого-петрографическими типами железистых кварцитов являются: магнетитовые, гематит-магнетитовые и силикатно-магнетитовые (преимущественно куммингтонит-магнетитовые, реже биотит-магнетитовые).

Магнетитовые кварциты сложены в основном магнетитом и кварцем. В них практически всегда присутствует примесь щелочного амфибола, с увеличением которой до 6-8 % и более они переходят в щелочно-амфибол-магнетитовые разности. Из-за тесного переслаивания магнетитовых и щелочно-амфибол-магнетитовых кварцитов, а также близости их физико-механических и технологических характеристик, их относят к магнетитовому типу.

Гематит-магнетитовые кварциты – тонкополосчатых текстур. Рудные слои сложены магнетитом или гематит-магнетитовым агрегатом, нерудные - преимущественно кварцем. Эти кварциты встречаются, как правило, среди магнетитовых кварцитов.

Силикатно-магнетитовые кварциты в нерудных прослоях представлены преимущественно куммингтонитом, либо биотитом.

Слаборудные кварциты сложены слойками сливного и гранулированного кварца, в меньшей степени силикатно-кварцевого агрегата. Рудные слойки в них встречаются редко.

Распространенность кварцитов на Лебединском месторождении: магнетитовые кварциты – 50 %, куммингтонит-магнетитовые – 30 %, гематит-магнетитовые – 14 %, биотит-магнетитовые – 5 %, слаборудные – 1 %. Последние образуют небольшой мощности до10 м пачки пород в основании и кровле двух рудных подсвит коробковской свиты.

Фациальная изменчивость толщи кварцитов по мощности и латерали, осложненная дисгармонической складчатостью создала сложную картину пространственного размещения минерально-петрографических типов железистых кварцитов в массиве, вскрытом действующим карьером.

Сланцы кварц-слюдистые слагают нижнюю и верхнюю сланцевые подсвиты коробковской свиты, образуя в пределах карьерного поля полосы и клинья шириной 30-100 м в крыльях складок и до 200-300 м в их замковых частях. Слюды представлены серицитом и биотитом. Структура гранолепидобластовая, текстура сланцевая, иногда встречаются гранат-амфибол-биотитовые сланцы.

Кварцитопесчаники распространены в ядрах антиклинальных складок III порядка на юге и юго-востоке карьерного поля. Это почти мономинеральные кварцевые породы, иногда содержащие до 20-30 % слюд (серицита, биотита, фуксита), с примесью полевого шпата и карбоната. Структура – мозаично-гранобластовая, текстура – массивная, в слюдистых разностях - нечетко выраженная сланцевая.

Процессы разрушения твердого тела многостадийны [2, 3, 4] и определяются: возникновением дефектов в кристаллической решетке; образованием зародышевых трещин; развитием и объединением микротрещин с образованием макротрещин; разрушением тела.

Дробимость и измельчаемость железистых кварцитов Лебединского месторождения изменяется в широких пределах даже в разновидностях близкого минерального состава. На измельчаемость железистых кварцитов основное влияние оказывают: минеральный состав, структурные особенности и кристалличность кварца. Например, сред-

Таблица 1

Данные статистической обработки и корреляционного анализа измельчаемости (q) железистых кварцитов (по малым технологическим пробам)

Тип кварцитов	Измельчаемость (q) от – до среднее	Среднеквадратич. отклонение (◁)	Коэфф. вариации (△)	Коэфф. множеств. корреляции с $Fe_{общ}$ и $Fe_{маг}$
Гематит-магнетитовые	$\frac{0,330-0,730}{0,480}$	0,13	26,0	0,226
Магнетитовые	$\frac{0,159-0,88}{0,422}$	0,15	34,12	0,117
Щелочно-силикатно-магнетитовые	$\frac{0,306-0,959}{0,511}$	0,19	37,27	-0,615
Силикатно (куммингтонит и биотит) – магнетитовые	$\frac{0,188-0,537}{0,354}$	0,087	24,47	0,163
Магнетит-силикатные	$\frac{0,198-0,533}{0,320}$	0,095	28,73	0,552
В целом для железистых кварцитов	$\frac{0,159-0,960}{0,425}$	0,15	34,51	0,216

ние значения измельчаемости (табл. 1) снижаются от магнетитовых и гематит-магнетитовых к силикатно-магнетитовым кварцитам.

Статистической обработкой 161 малой технологической пробы установлена слабая, незначимая парная и множественная корреляция измельчаемости с содержанием железа общего и магнетитового и их соотношением. Это означает, что минеральный состав железистых кварцитов определяет только качественное состояние измельченности. Для количественного выражения необходимо глубокое изучение минералов.

Исследованиями [1, 3, 5, 6, 7] установлено, что главным фактором влияния на измельчаемость является кристаллическое состояние наиболее твердого и прочного минерала железистых кварцитов – кварца, составляющего от 30 % до 60 % объема породы. Для понимания закономерностей дробимости и измельчаемости были проведены минералого-петро-графические исследования кварца и находящихся с ним в срастаниях ассоциирующих минералов.

С применением классических и комплекса современных методов на основе онтогении минералов исследованы изменения в морфологии, анатомии, типах срастаний и физических свойствах кварца и магнетита. Установлено, что они носят типоморфный характер и определяют технологические свойства железистых кварцитов. Характер срастаний кварца с магнетитом, гематитом и другими минералами определяется последовательностью и этапностью процессов минералообразования. В результате формируются различные генерации и типы минералов, с присущими им кристалло-мор-фологическими признаками (табл. 2).

В наиболее дефектном кварце, имеющем волнистое, блоковое, рассеянное угасание и низкую кристалличность, выявленную методами ИКС, термовысвечивания, микротвердости и др., образование трещин значительно облегчается.

Таблица 2

Генерации и типы кварца железистых кварцитов Лебединского месторождения

Генерации и генезис	Типы	Кристалло-морфологические признаки	Приуроченность	Относительная распространенность
Диагенетический (кварц-I)		округлые ксеноморфные зерна с четко выраженной зональностью: в ядрах запыленность рудным минералом, краевые части лишены ее. Размер 0.02-0.03 мм	Наименее деформированные участки	Реликты
Метаморфический (кварц-II)	Роговиковый	мелкие полигональные, мутноватые зерна с характерной пойкилитовой вкрапленностью рудных минералов. Размер 0.02-0.04 мм	Крылья складок	
	Торцовый	изометричные, полигональные, прозрачные зерна с уплощенными гранями. Характерно прямое, реже слабоволнистое угасание. Размер 0.03-0.07 мм	Ядра, замки складок	около 70 %
	Ксеноморфный	границы сложные, извилистые, угасание волнистое, иногда блоковое, реже прямое, высокая прозрачность, отсутствие пойкилитовых включений. Размер 0.05-0.15 мм		
	Послойно-вытянутый	границы несложные, слегка округлые, реже прямые и волнистые, ориентировка зерен послойная. Характерна высокая прозрачность, отсутствие включений. Угасание слабо волнистое или прямое. Размер 0.04-0.2 мм	Сводовые части складок и зоны растяжения	
Щелочно-метасоматический (кварц-III)		в виде изометричных полиэдров, образующих мозаичную структуру кварцевых слойков. Характерна высокая прозрачность, прямое угасание. Размер 0.05-0.25 мм	Щелочно-силикатно-магнетитовые кварциты	около 15-20 %
Контактово-метаморфический (кварц-IV)		крупные и очень крупные кристаллы с волнистым, блоковым, рассеянным, реже прямым угасанием, извилистыми, волнистыми и зазубренными границами. Характерна высокая прозрачность, отмечаются пойкилитовые включения, в том числе реликтового кварца. Размер 0.05-0.5 мм	Экзоконтакт с Стойло-Николаевской интрузией	около 10 %

Таблица 3

Корреляция измельчаемости (q), среднего размера зерен кварца ($\overline{x}$) и процента класса зерен менее 0,03 мм (y)

Минеральные типы	Коэффициент парной корреляции		Коэффициент множественной корреляции	Уравнение множественной регрессии
	q от $\overline{x}$	q от y	q от $\overline{x}$ и y	
Гематит-магнетитовые	0,953	0,957	0,950	q =0,44+6,20 $\overline{x}$ -0,007 y
Магнетитовые	0,873	0,918	0,930	q =0,45+5,11 $\overline{x}$ -0,006 y
Куммингтонит-магнетитовые	0,938	0,971	0,979	q =0,43+7,68 $\overline{x}$ -0,008 y
Щелочносиликат-магнетитовые	0,963	0,836	0,964	q =0,007+9,07 $\overline{x}$ -0,001 y

К таковому относится линейно-вытянутый, ксеноморфный, контактово-метаморфический кварц и кварц из щелочноамфибол-магне-титовых кварцитов первой группы.

Торцовый, роговиковый и мозаичный кварц из эгирин-магнетито-вых кварцитов менее дефектен и объединен во вторую группу. Из сказанного можно предположить, что на первой стадии разрушения зарождение микротрещин в кварце первой группы будет происходить легче, чем в – торцовом, мозаичном и роговиковом.

Во вторую стадию при формировании микротрещин основную роль играют факторы, препятствующие развитию микротрещин, а именно, включения, границы зерен и др. Множество микровключений в роговиковом кварце и малые размеры его зерен создают множество «ступеней дислокаций», гасящих развитие микротрещин. Поэтому на его разрушение необходимо затрачивать наибольшее количество энергии.

В торцовом кварце из-за его большей, по сравнению с роговиковым, крупности и чистоты развитие микротрещин более благоприятно. Разрушение крупнозернистого линейно-вытянутого, ксеноморфного и контактово-метаморфического кварца происходит с наименьшими затратами энергии.

В щелочносиликатно-магнетитовых кварцитах кварц из эгирин-магнетитовых и щелочноамфибол-магнетитовых разновидностей близок по размеру, но поскольку у кварца из щелочноамфибол-магнетитовых кварцитов дефектность значительно выше, то и разрушение его легче.

С данными представлениями хорошо согласуется выявленная прямая зависимость удельной производительности мельницы по вновь образованному классу от микротрещин кварца, отражающей влияние дефектности его кристаллической решетки на измельчаемость.

Величина измельчаемости, в пределах каждой минеральной разновидности, находится в прямой зависимости от среднего размера зерен кварца и в обратной – от содержания класса менее 0,03 мм, при высоких значениях коэффициентов парной и множественной корреляции (табл. 3).

Учитывая, установленную связь прочностных характеристик железистых кварцитов с типом слагающего кварца становится очевидным отнесение к среднеизмельченным наиболее мелкозернистых разновидностей с

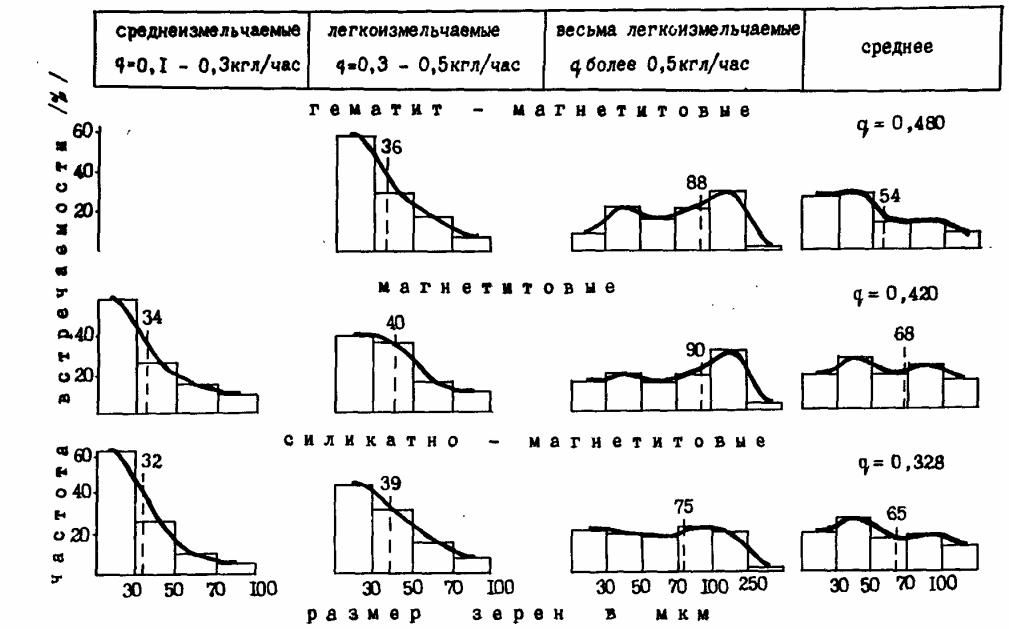

Рис. 1. Гистограммы гранулометрии кварца в наиболее распространенных минеральных разновидностях железистых кварцитов различной измельчаемости

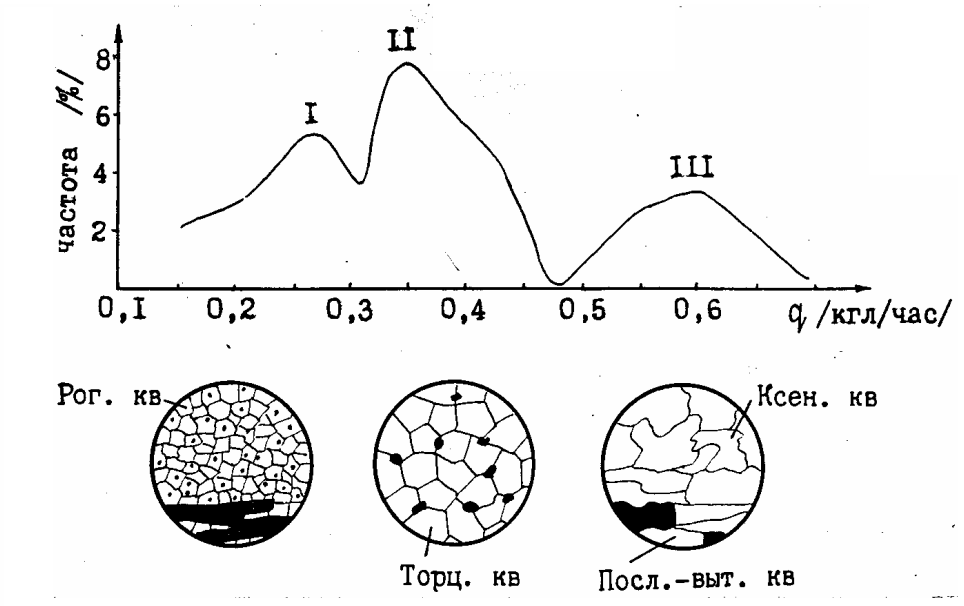

Рис. 2. Вариационная кривая измельчаемости (удельной производительности мельницы по вновь образованному классу)

роговиковой структурой кварцевых слойков, к легкоизмельчаемым – с торцовой и мозаичной структурой. Весьма легкоизмельчаемые разновидности, как правило, самые крупнозернистые (рис. 1) и сложены ксеноморфным, линейно-вытянутым и контактово-метаморфи-ческим кварцем. Границы между средне- (I), легко- (II) и весьма легкоизмельчаемыми (III) рудами в пределах Лебедино-Стойленс-кого рудного поля отбиваются из вариационной кривой измельчаемости железистых кварцитов (рис. 2). Эти признаки являются типоморфными и могут быть положены в основу минералого-технологической классификации железистых кварцитов. Тесная генетическая связь генераций и типов кварца с этапами кристаллогенеза позволили [1, 6, 8] установить основные закономерности залегания средне-, легко- и весьма легкоизмельчаемых руд:

- среднеизмельчаемые руды следует ожидать в моноклинально падающих рудных телах и крыльях структур, сформированных во вторую фазу Курской складчатости;

- легкоизмельчаемые руды – в ядрах, в меньшей степени в замках структур второй фазы складчатости, а также в участках развития эгирин-магнетитовых кварцитов;

- весьма легкоизмельчаемые – в зонах, активизированных в третью фазу складчатости; термального воздействия Стойло-Николаевского интрузива; развитие щелочноамфибол-магнетитовых кварцитов; частично – в шарнирах структур второй фазы складчатости.

Таким образом, структурно-морфологические типы, гранулометрия и кристалличность кварца количественно определяют процессы разрушения кварцитов, а именно, дробимость и измельчаемость.

Установленные закономерности рекомендуется использовать при геолого-технологическом картирования рудного поля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Пирогов Б.И., Пирогова В.В.* Минералогическое исследование железных и марганцевых руд. – М.: Недра, 1973, 216 с.
2. *Нотт Дж.* Основы механики разрушения. – М.: Металлургия, 1978, 256 с.
3. *Ревнивцев В.И., Хопунов Э.А., Костин И.М. и др.* Селективное разрушение минералов. – М.: Недра, 1988.
4. *Ревнивцев В.И.* Роль технологической минералогии в обогащении полезных ископаемых. – ЗВМО, 1982,ч. Ш, вып.4. – С. 443-449.
5. *Булгакова А.П., Ряполов О.Г., Щекин Ю.С. и др.* Об изменчивости петрофизических и технологических свойств железистых кварцитов. – Горный журнал, 1989, №4. – С. 8-11.
6. *Романщак А.А., Белых В.И.* Петрохимические критерии минералого-технологической классификации железистых кварцитов. – В кн. Железные руды для качественной металлургии, М., 1986. – С. 62-72.
7. *Жабин А.Г.* Онтогения минералов. – М., Наука, 1979, 275 с.
8. *Пирогов Б.И.* Геолого-минерало-гические факторы, определяющие обогатимость железистых кварцитов. – М., Недра, 1969, 239 с. ГИАБ

Коротко об авторах

Мосейкин В.В. – Московский государственный горный университет,
Абсатаров С.Х. – Дорстройщебень, г. Губкин.

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 1 симпозиума «Неделя горняка-2007».
Рецензент д-р техн. наук, проф. *А.М. Гальперин.*