© Т.Н. Гзогян, 2010

УДК 622. 7. 016. 622. 341. 11

Т.Н. Гзогян

ПРОГНОЗНАЯ ОБОГАТИМОСТЬ ЖЕЛЕЗИСТЫХ КВАРЦИТОВ ПРИОСКОЛЬСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ НА ОСНОВЕ МИНЕРАЛОГО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Приведены результаты минералого- технологического изучения свойств железистых кварцитов Приоскольского месторождения КМА. Показана значительная неоднородность основного рудного минерала – магнетита и приведены его состав и свойства, которые необходимо учитывать в процессе переработки и, особенно, выборе способа рудоподготовки.

Ключевые слова: железистые кварциты, магнетит, маггемит, силикатный комплекс, измельчаемость, обогатимость.

Семинар № 26

Руды Приоскольского месторождения КМА рассматриваются как перспективная сырьевая база проектируемого Приоскольского ГОКа. Утвержденные на месторождении запасы представлены: неокисленными (97.9 % общих запасов) и окисленными (0.9%) железистыми кварцитами и природно-богатыми (1.2%) железными рудами [1].

По главным минералам выделены минералого-петрографические разновидности: магнетитовые, силикато-магнетитовые, гематито-магнетитовые, малорудные. Наибольший интерес для исследований представляют магнетитовые и силикато-магнетитовые, на их долю приходится 95.0 %. Минералого-технологические исследования проводились на образцах керновых проб по схеме, представленной на рис. 1.

Минералогические исследования кроме данных о составе и текстурно-структурных особенностях кварцитов, дают сведения о технологических свойствах рудообразующих минералов, зависящих от формы выделений минералов, их состава, кристаллической структуры, степени ее упорядоченности, типа и особенностей распределения микропримесей в минералах.

Минералогическими исследованиями установлено, что магнетитовые кварциты характеризуются чередованием прослоев существенно-магнетитовых (от 1 до 4 мм) с существенно-кварцевыми (от 2 до 10 мм) и силикатными (от10 до 20 мм), между которыми четкая граница, как правило, отсутствует. Средняя часть рудных прослоев обогащена оксидом железа (до 90%), в краевых частях рудная и нерудная части примерно одинаковы, для верхней и нижней части характерно присутствие отдельных кристаллов рудной фазы в нерудной массе.

Магнетит (Fe_3O_4) - основной рудообразующий минерал, представлен как отдельными зернами, так и агрегатами. Форма зерен магнетита гипидиоморфная, идиоморфная, в магнетитовых прослоях образует полиэдрические агрегаты, вытянутые вдоль полосчатости, форма которых неоднородна. Размер агрегатов варьирует от 0.22х1.35 до 0.3х1.71 мм.

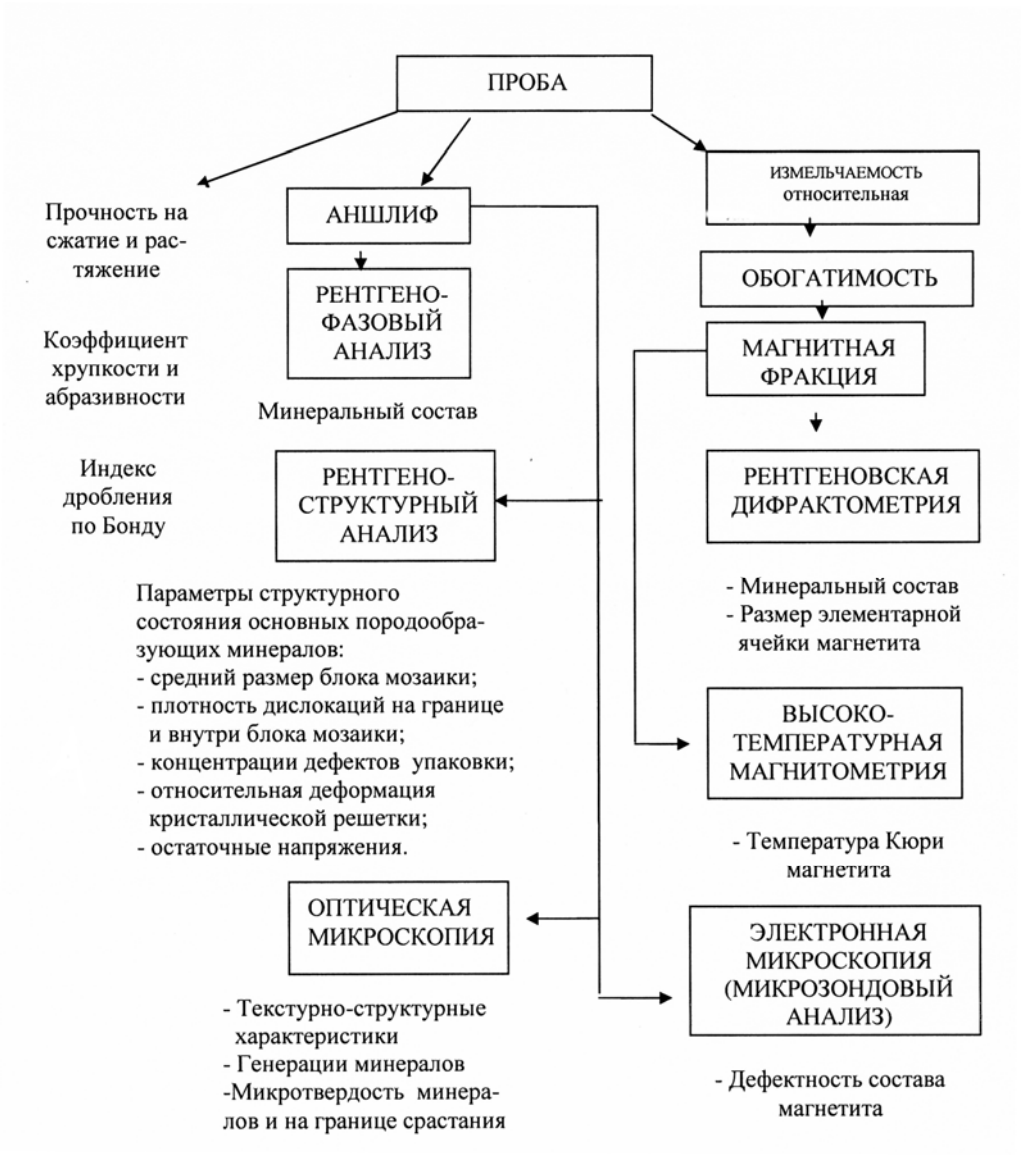

Рис. 1. Схема изучения проб Приоскольского месторождения

В магнетите отмечены микровключения других минералов, пойкилитовые прорастания с кварцем и силикатами, эмульсевидные вкрапления сульфидов (пирротина, пирита, халькопирита), удлиненно-призматические зерна рутила. Вкрапленники сульфидов наблюдаются размером от 0.065 до 0.19 мм.

Кварцевые прослои выполнены мозаичным кварцем, который переполнен рудными включениями.

В силикатных прослоях магнетит образует рассеянные вкрапления до 20% объема породы, размером от 0.009 до 0.063 мм.

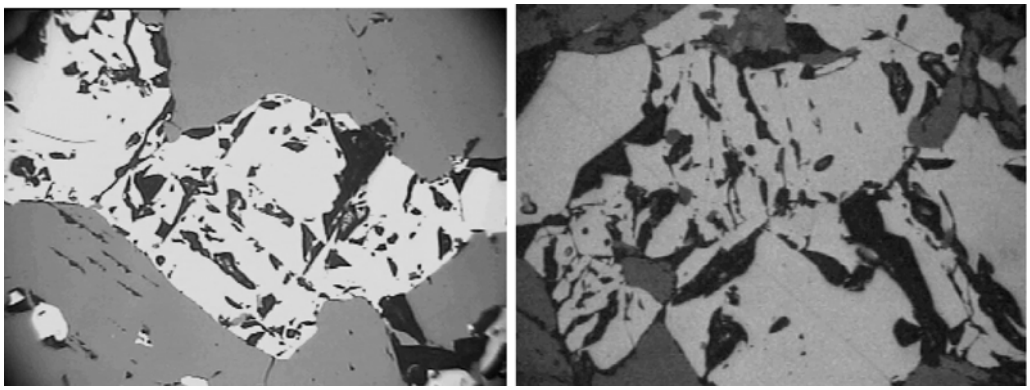

Рис. 2. Дефектный магнетит. Увелич. 200

С проявлением интенсивного магнезиально-железистого метасоматоза и тектонических процессов изменяются особенности вещественного состава и структуры кварцитов. На месторождении это проявилось с образованием пластинчатого гематита в виде самостоятельных скоплений, либо псевдоморфоз по магнетиту, вызывая коррозию последнего, формирование новых минералов и перекристаллизацию кварца. Размер пластинок гематита достигает 0.065х0.1 мм, в центре которых отмечаются ядра магнетита. В гематите микровключений других минералов не обнаружено.

Силикато-магнетитовые кварциты характеризуются чередованием существенно- рудных прослоев (от 0.29 до 2 мм) с силикатными (от 0.3 до 1.5 мм). Ширина рудных прослоев может достигать 20 мм, массовая доля магнетита колеблется от 55 до 80% объема прослоя. Магнетит представлен зернами размером от 0.02х0.03 мм до 0.63х0.81 мм, спорадически встречаются эмульсевидные вкрапления сульфидов. Зерна магнетита разбиты системой трещин, границы зерен частично нарушены: извилистые, зазубренные, ступенчатые, мелкозаливчатые (рис. 2). При травлении кислотой выявляется неоднородность строения зерен магнетита, с образованием структур распада с пластинчатым ильменитом и неровная пятнистость с извилисто-причудливыми формами - маггемит (γ Fe_2O_3).

Таким образом, кварциты месторождения отличаются более широкими рудными, смешанными и нерудными прослоями, их средняя мощность в 1.5 раза больше чем на других месторождениях.

По размеру зерен магнетита кварциты относятся к крупновкрапленным, средний размер зерен магнетита составил 0.083 – 0.144, средний размер силикатов составляет 0.180, кварца – 0.110 мм.

Съемка образца железистых кварцитов в отраженных электронах иллюстрирует внутреннее строение пород: выделение кристаллических фаз и микроструктуры основной массы породы, образованной этими фазами. Последующая съемка в рентгеновских характеристических лучах констатирует распределение химических элементов (Mg, Si, Fe) на выделенной площади участка. Анализ полученного свидетельствует, что порода сложена в основном магнетитом. Характерно, что Si и Mg равномерно распределены по площади распространения Fe, что позволяет обоснованно предпо-

Таблица 1

Результаты определений магнитных характеристик при напряженности 80 кА/м.

Минеральная разновидность	Удельная магнитная восприимчивость, см³/г·10³	Коэрцитивная сила, кА/м	Остаточная намагниченность, гс
Магнетитовая	41.6 – 42.5	5.20 – 5.60	2.7 – 3.0
Силикато-магнетитовая	26.6 – 30.5	4.72 – 7.12	1.8 – 2.4

ложить, что эти элемент входят в решетку минерала. Электронная растровая микроскопия, картина дифракции которой представлены на рис. 3, показала, что подавляющее большинство кристаллов, представленных оксидами железа, относится к магнетиту, но отсутствие периодичности в расположении некоторых рефлексов свидетельствует о наличии дефектов и дислокаций в решетке магнетита и образовании маггемита. Наличие экзотермического эффекта при 340-350°С на термограммах также подтверждает наличие маггемита.

Кроме того, изучение значения ребра элементарной ячейки магнетита показало, что средний размер ее равен 8.373Б и это меньше, чем у магнетита стехиометрического состава (8.396Б), для примера: Михайловского – 8.395, Стойленского – 8.381, Коробковского – 8.384, Лебединского – 8.371. Оценка деформаций магнетита рентгеновскими исследованиями позволяет сделать вывод о том, что изменение главных межплоскостных расстояний в большей степени характерно для Приоскольского и Лебединского месторождений. Уменьшение ребра элементарной ячейки магнетита при переходе в маггемит вызвано заменой FeI+ с ионным радиусом 0.80Б на Fei+ с ионным радиусом 0.67Б с одновременным выносом одной трети ионов FeI+ из структуры магнетита [3], что также подтверждается месбауэровской спектроскопией.

Данные высокотемпературной магнитометрии также подтверждают некоторое отличие магнетитов месторождения (средняя температура Кюри 578.3°) от стехиометрического (585 °С), для примера: Михайловского – 576, Стойленского – 571.8, Коробковского – 574.2, Лебединского – 573.3. Значение точки Кюри указывает на недостаток ионов FeI+. Изменение соотношения Fei+ и FeI+ обуславливает и невыдержанность магнитных свойств магнетита, которые являются одним из важнейших факторов, влияющих на обогатимость железистых кварцитов.

Магнетиты месторождения являются магнитожесткими и при переработке таких кварцитов необходимо в схемы обогащения вводить операции дефлокуляции и селективной флокуляции. Коэффициент неоднородности магнетита, который составил в среднем 0.681, свидетельствует о значительной неоднородности минерала и является следствием протекания процессов метасоматоза и рекристаллизации. Для сравнения коэффициент неоднородности магнетитов других месторождений Старооскольского железорудного узла составляет: Стойленского – 0.704, Коробковского – 0.688, Лебединского – 0.683; для Михайловского – 0.715.

Детальное исследование микрозондовым анализом показало дефицит железа в зернах магнетита, массовая доля которого колеблется от 67.3 до 72.17%, модуль магнитности варьирует от 0.48 до 0.91.

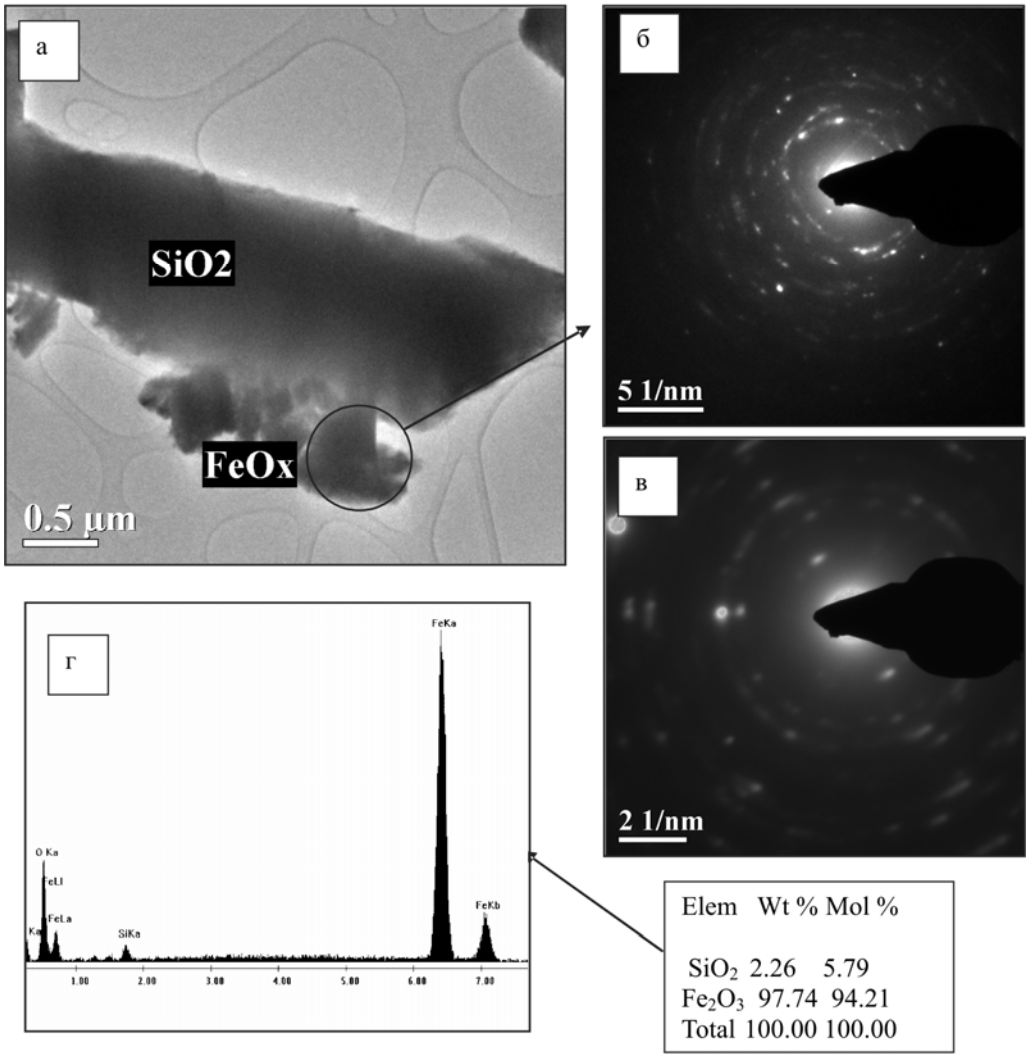

Рис. 3. Электронограммы железосодержащих фаз, снятые с частиц оксида железа под разными углами ориентировки прибора: а – диспергированный материал на подложке: частицы оксида железа, диоксида кремния, силиката; б, в – картины дифракции от частиц магнетита; г – энергодисперсионный спектр и химический состав частицы оксида железа (примесь SiO_2 связана с включениями наноразмерного уровня)

Магнетит является весьма чувствительным индикатором условий образования месторождения и изучение вариации состава магнетита имеет существенное значение для прогноза технологических показателей обогащения при переработке железистых кварцитов. Минеральный состав, текстурно-структурные признаки, физические, химические и физико-механические свойства кварцитов являются следствием определенных условий образования месторождения, поэтому их технологические свойства (дробимость, измельчаемость, обогатимость, раскрываемость рудных и нерудных

минералов), находятся в прямой зависимости от генезиса.

Рентгено-фазовым анализом и оптико-минералогическими исследованиями кроме магнетита установлено наличие и других рудных минералов: маггемита, мартита, гематита, гетита и гидрогетита, ильменита, сидерита и магнезиоферрита.

Основными породообразующими минералами на месторождении являются минералы силикатного комплекса, обращает на себя внимание их весьма разнообразный состав – арфведсонит, антофиллит, биотит, зеленая слюда, куммингтонит, лепидомелан, рибекит, рихтерит, эгирин, эккерманит. Это является отличительной особенностью железистых кварцитов данного месторождения от других месторождений Старооскольского железорудного узла: повышенное содержание силикатов (в особенности куммингтонита до 32%) и относительно низкое содержание кварца (20 -30%).

Среди карбонатов присутствуют анкерит, доломит и кальцит.

Сульфиды представлены преимущественно эмульсионными включениями пирита, пирротина и халькопирита в магнетит и силикаты, наблюдается факт замещения пиритом магнетита, что может их перевести в разряд существенных второстепенных компонентов. Изучению сульфидной минерализации стоит уделить особое внимание и учитывать этот фактор при разработке технологии переработки.

Оценка технологических свойств выполнена по показателям дробимости, измельчаемости и обогатимости.

Показатель дробимости определялся по методике, разработанной ОАО «Белмеханобр», критерием оценки в которой является величина удельного расхода электроэнергии, отнесенной к единице вновь образованной поверхности. Анализ результатов определения дробимости показал, что самыми прочными оказались силикато-магнетитовые (1.65 кВт час/м^2) и малорудные (1.84 – 1.92 кВт час/м^2), менее прочными – магнетитовые (1.24 кВт час/м^2) кварциты.

По физико-механическим свойствам, из выделенных групп кварцитов, наименее прочными являются магнетитовые, наиболее прочными – малорудные и силикато-магнетитовые: удельная работа разрушения изменяется от 6.16 до 15.18 кгм/м^3, коэффициент крепости по Протодьяконову – от 6.48 до 13.22, прочность на растяжение – от 153 до 233.5 кгм/м^3 (табл. 2).

Следует отметить, что из исследованных проб, физико-механические свойства в разных участках месторождения практически идентичны и кварциты относятся к низким и средним по прочности.

Значения микротвердости магнетита (552 – 566.5 кгс/мм^2) месторождения превышают значения микротвердости магнетита Лебединского (520 кгс/мм^2) и Стойленского (502 кгс/мм^2) месторождений.

Микротвердость основного породообразующего минерала – куммингтонита (694 – 764 кгс/мм^2) – меньше значений микротвердости кварца (977 – 1426 кгс/мм^2).

Измельчаемость кварцитов относительно кварцитов Стойленского месторождения определялась по методике проф. М.К. Широкинского.

Анализ табл. 3 показывает, что худшей измельчаемостью характеризуются силикато-магнетитовые кварциты, которые имеют самое высокое значение удельной производительности – 0.513 кг/л час. Установлено, что по мере снижения крупности измельчения удельная производительность лабораторной мельницы резко снижается по классам крупности более 0.071 мм (Котн=1.05 – 1.44), чем по классам менее 0.071 мм (Котн=0.6-0.9).

Измельчаемость силикато-магнетитовых кварцитов по всем классам крупности хуже по сравнению со сравниваемыми кварцитами, чему способствует куммингтонит, имеющий микротвердость выше, чем у магнетита и спутано-волокнистую структуру.

Обогатимость малой технологической пробы кварцитов месторождения осуществлялась согласно ГОСТ 25114-82 Руды железные. Метод магнитного анализа. При массовой доле класса минус 0.045 мм 90-92% получен магнетитовый концентрат с массовой долей железа общего 68.3 – 68.7%. Для кварцитов характерно повышенное раскрытие нерудной фазы (до 0.80) и высокий выход хвостов - до 53%.

Полученные результаты свидетельствуют о значительной неоднородности магнетита железистых кварцитов Приоскольского месторождения. Следует отметить, что весьма неоднородными являются магнетиты, связанные с незавершенными процессами мартитизации.

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 обуславливать дебаланс магнетита и повышенные его потери с хвостами [4]. Так как при шаровом измельчении дислокации распределяются по всему объему материала в отличие от бесшарового. При соударении рудной гали с измельчаемым материалом контактные напряжения значительно ниже, трещин на поверхности зерен образуется меньше и раскалывание происходит преимущественно в местах наиболее подверженных разрушению, т.е. по границам срастания, где происходит концентрация дислокаций и микротрещин.

Исследованиями установлено, что для получения одинаковой массовой доли железа общего в концентрате при шаровом измельчении и бесшаровом конечная крупность должна быть на 1.5 – 2.0 % больше при шаровом. Кроме того, при шаровом измельчении выход зерен размером 0.002 – 0.003 мм увеличивается, что приводит к снижению выхода концентрата и увеличению потерь металла с хвостами. Процесс обогащения предусматривает освобождение извлекаемых минералов и минералов пустой породы из сростков друг с другом. Эту задачу решает операция рудоподготовки. Мерой эффективности данной операции и эффективных условий ее реализации служит коэффициент раскрытия рудной фазы в концентрате. Учитывая хрупкость минералов силикатного комплекса (172) и кварца (187) по сравнению с магнетитом (138), следует, что при шаровом измельчении раскрытие нерудной фазы будет происходить интенсивнее, что приведет к ошламованию концентрата и образованию труднораскрываемых сростков. Так, например, степень раскрытия рудной фазы в концентрате Стойленского ГОКа составляет 0.93, а Лебединского - 0.99.

В этой связи должен быть применен рациональный комплекс минералого-аналитических и технологических исследований, позволяющих рекомендовать наиболее эффективные методы рудоподготовки и обогащения.

Выводы

1. Главный рудный минерал – магнетит – претерпел значительные изменения. Массовая доля железа общего в минерале изменяется от 67.3 до 72.17%. Неоднородность состава и свойств основного минерала – магнети-

та оказывает влияние на механические и физические свойства кварцитов, что влечет за собой изменение не только технологических свойств (измельчаемости и обогатимости), но, в конечном счете, и технологических показателей обогащения.

2. Важной особенностью рудных минералов является проявление морфотропных преобразований в ряду оксидов железа и наличие в кварцитах месторождения до 10% маггемита, в то время как на Лебединском и Стойленском до 5-8, Коробковском – до 6%.

3. Специфической особенностью минерального состава данных железистых кварцитов является заметное преобладание минералов силикатного комплекса над кварцем и их весьма разнообразный состав.

4. Важно отметить сульфидную минерализацию железистых кварцитов и наметившиеся предпосылки неоднозначных и сложных взаимоотношений сульфидов и оксидов железа, которые при переработке могут оказать существенное влияние на получение высококачественного магнетитового концентрата.

5. По физико-механическим свойствам кварциты можно отнести к кварцитам низкой и средней прочности, по измельчаемости к категории легко- и среднеизмельчаемым, по обогатимости - к легкообогатимым.

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

7. Следует особо подчеркнуть, что приведенное в статье показывает, что кварциты Приоскольского месторождения индивидуальны и имеют определенные отличия от других месторождений Старооскольского железорудного узла и требуют к себе иного подхода. В этой связи должен быть применен рациональный комплекс минералого-аналитических и технологических исследований, позволяющих рекомендовать наиболее эффективные методы рудоподготовки и обогащения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Железные руды* КМА (под редакцией В.П.Орлова, И.А.Шевырева, Н.А.Соколова). – М.: ЗАО «Геоинформмарк», 2001.
2. *Гзогян Т.Н.* Особенности состава и свойств железистых кварцитов Приоскольского месторождения КМА.//Материалы 8-ой межд. конф. «Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр», М., Изд-во РУДН, 2009.
3. *Кудрявцева Г.П.* Ферримагнетизм природных оксидов, М., Недра, 1988.
4. *Гзогян Т.Н.* К вопросу генетической дефектности магнетита Михайловского месторождения КМА, Обогащение руд, №3, 2002. ГИАБ

Коротко об авторах

Гзогян Т.Н. – зав. лаборатории наноисследований и инноваций в обогащении ФГУП ВИОГЕМ, канд. техн. наук, действительный член МАМР и АГН,
E-mail: mehanobr1@yandex.ru