

УДК 622.02:622.341.1

С.Р. Гзогян

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИИ О ГЕНЕТИЧЕСКОМ СТРУКТУРНОМ СОСТОЯНИИ ЖЕЛЕЗИСТЫХ КВАРЦИТОВ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Обосновывается выделение природных признаков, разделяющих кварциты на технологические сорта, установлена возможность прогнозирования показателей обогащения по результатам технологических испытаний малообъемных проб.

Ключевые слова: железистые кварциты, измельчаемость, обогатимость, концентрат, хвосты.

Семинар № 3

В системе управления качеством одно из ключевых мест занимает управление технологией горного производства. Эффективность управления определяется в значительной мере достоверностью и полнотой информации о генетическом структурном состоянии перерабатываемых руд. Высокий уровень изменчивости технологических параметров рудного сырья, возрастающие требования к оценке его свойств, деятельность горно-рудных предприятий требует постоянного контроля выбора наиболее оптимальных критериев, оценивающих качество руды. Массив рудного сырья – это сложное природное образование, обладающее различными химико-минералогическими, технологическими и физико-механическими свойствами.

В настоящее время практически все железные руды подвергаются перед металлургической переработкой обогащению, поэтому оценка их обогатимости является актуальной и она немыслима без оценки физико-механических характеристик сырья. Рудоподготовка является важным этапом в этом процессе. Для оценки

физико – механических свойств необходимо проведение исследований дробимости и измельчаемости; эти параметры могут быть оценены прямыми или косвенными методами (удельная работа дробления, удельная производительность мельниц, коэффициенты измельчаемости, микротвердость минералов и т.д.).

Важным критерием оценки технологических характеристик сырья являются параметры раскрытия рудной и нерудной фазы при разной крупности измельчения.

Следовательно, оценка обогатимости определяется комплексом природных параметров, каждый из которых контролирует те или иные свойства.

Изучение вещественного состава железистых кварцитов проводится по комплексу химических, минералогических, фазовых анализов, каждый из которых имеет свои особенности, в совокупности они уточняют и дополняют друг друга.

Важное значение при изучении вещественного состава имеет сопоставление общегеологических, геолого-минералогических и химических

особенностей формирования и дальнейшего преобразования железистых кварцитов, так как условия образования (генезис) и последующие изменения (метасоматоз, окисление, тектонические процессы) приводят к изменчивости технологических свойств. Изучение генетических, структурно-текстурных и вещественных особенностей месторождения позволяет количественно оценить изменчивость свойств, составлять и в дальнейшем корректировать технологическую карту месторождения. В результате такой оценки получается довольно сложная картина взаимосвязи природных свойств и технологических параметров; технологическая оценка руды не может быть простым суммированием влияния тех или иных природных признаков, т.к. это влияние может проявиться опосредованно, косвенным путем и непредсказуемо отразится на поведении извлекаемого компонента в технологическом процессе.

Среди основных геолого-промышленных типов железистых кварцитов выделены: богатые руды (коры выветривания), которые не требуют обогащения, их переработка заключается в дроблении и сортировке; окисленные руды, требующие затратных способов обогащения; бедные руды или неокисленные железистые кварциты, характеризующиеся огромными запасами и обогащаемыми магнитной сепарацией. Картирование выделенных типов производится раздельно и по различным признакам.

Изменчивость вещественного состава и технологических свойств негативно сказывается на процессе обогащения. Одним из способов снижения этого влияния является усреднение, которое вводится на всех этапах технологической цепи, начиная от планирования качества и объемов до-

бычи различных типов руды в карьере и заканчивая усреднением полученного продукта.

По большому числу разнообразных параметров рудного сырья трудно вести планирование технологических показателей и осуществлять усреднение, поэтому необходимо вести постоянный поиск новых многофакторных критериев, позволяющих оптимизировать процесс планирования качественно-количественных показателей по добыче, усреднению и переработке рудной массы. Среди критериев следует выбирать основные и дополнительные.

Классификация железистых кварцитов изначально осуществляется по обогатимости, причем, каждое предприятие использует ситуационный подход в выборе наиболее информативных критериев. Например, на горно-перерабатывающих предприятиях существовало несколько классификаций, в которых были свои достоинства и недостатки. Появление более новых и рациональных схем геологотехнологической оценки месторождения связано с тем, что процесс познания и совершенствования продолжается. В основу современного выделения технологических сортов по обогатимости положены работы Б.И. Пирогова, основанные на экспериментальном определении обогатимости (массовой доли железа в лабораторном концентрате) и классификации по количественной доле зерен магнетита размером менее 30 микрон.

Для создания более оптимальной рудной шихты, стабильности ее технологических свойств проводится планирование соотношения сортов по обогатимости, химическому составу исходной руды, выходу и качеству лабораторного концентрата, соотношения минеральных разновидностей в шихте, степени ее засорения.

В общем виде прогнозируемая массовая доля железа в промышленном концентрате рассчитывается по формуле:

$$\beta = \frac{\sum c_{ij} \cdot \beta_{ij} \cdot \gamma_{ij} \cdot K_{\beta ij}}{c_{ij} \cdot \gamma_{ij}} \cdot K_{\text{доп}},$$

где c_{ij} – процентное участие сортов в шихте (от i до j – сорта); β_{ij} – доля железа в концентрате (по-сортно); γ_{ij} – выход концентрата (по-сортно); $K_{\beta ij}$ – поправочный коэффициент по массовой доле железа в лабораторном концентрате, зависящий от соотношения сортов в шихте; $K_{\text{доп}}$ – переходной коэффициент, равный отношению $\beta_{\text{пром}}/\beta_{\text{лаб}}$.

Выход концентрата и извлечение рассчитываются по общеизвестным формулам.

Расчет планируемых показателей обогащения может вестись не только по формулам, но и по уравнениям регрессии, которые рассчитываются на основании большого объема статистических данных и устанавливают зависимости от качества исходного рудного сырья.

В системе прогнозирования показателей обогащения иrudоподготовки геолого-технологическое карттирование месторождения по обогатимости занимает определяющее положение ввиду своей значимости для текущего и перспективного планирования работы любого предприятия [2]. Но часто данных, характеризующих исходную руду только по обогатимости, бывает недостаточно для технологических прогнозов. Возможность прогнозирования технологических показателей и управления качеством продукции связана с набором большого количества информации по различным свойствам железистых кварцитов, обширный банк сведений дает возможность компьютерного моделирования и экстраполирования

[3]. Сложность работы в данном направлении, незаконченность и пересмотр отдельных этапов прогнозирования связаны с разнообразием и несовершенством критериев, которые положены в основу классификации.

До определенного времени прогнозная оценка по обогатимости в какой-то мере соответствовала требованиям технологических показателей. Возросшие потребности в продукции определенного качества, необходимость гибкого изменения процесса, жесткий учет и экономия энергозатрат вызвали необходимость геологотехнологической классификации месторождений по нескольким признакам. Различия минерального сырья по физико-механическим свойствам (дробимости, измельчаемости) также должны быть использованы для картирования и последующего прогнозирования их поведения в процессе переработки.

Целью работ по определению дробимости является:

- накопление статистического материала различных минеральных разновидностей;
- сопоставление полученных результатов с измельчаемостью и обогатимостью.

Проведенные исследования не подтвердили какой-либо зависимости дробимости от сорта или разновидности железистых кварцитов, также не было отмечено связи дробимости с измельчаемостью и обогатимостью.

Измельчаемость может нести информацию о приросте контрольного класса, об изменении качества концентрата от крупности при одинаковом времени измельчения. Степень измельчаемости определялась по удельной производительности мельниц, расчет производился по классу минус 0.050 мм для I стадии измельчения (q'_{50} , кг/л·час). Для определения

Взаимосвязь измельчаемости и обогатимости

Сорт		Количество		q_{150}	β
по измельчаемости	по обогатимости	штук	%		
легкоизмельчаемый (ЛИ)	ЛО	286	22.5	0.375	68.12
	СО	31	2.4	0.372	65.15
	ТО	9	0.7	0.371	63.19
	Итого:	326	25.6	0.375	67.70
среднеизмельчаемый (СИ)	ЛО	456	35.8	0.292	67.90
	СО	212	16.7	0.283	65.19
	ТО	92	7.2	0.277	62.44
	Итого:	760	59.7	0.287	66.49
трудноизмельчаемый (ТИ)	ЛО	72	5.7	0.228	67.49
	СО	50	3.9	0.230	65.10
	ТО	65	5.1	0.226	61.85
	Итого:	187	14.7	0.228	64.89
ЛИ+СИ+ТИ	ЛО	814	64.0	0.315	67.88
	СО	293	23.0	0.383	65.17
	ТО	166	13.0	0.362	62.25
	Итого:	1273	100.0	0.301	66.56

ния измельчаемости выбраны разные по обогатимости технологические сорта и разные минеральные разновидности. Диапазон измельчаемости был выбран в пределах: ≥ 0.33 (ТИ) < 0.23 (ЛИ) для трудно- и легкоизмельчаемых кварцитов соответственно (среднеизмельчаемые находятся между этими значениями). По результатам испытания большого количества керновых проб железистых кварцитов одного из месторождений КМА были разделены на три группы и показано их качественное соотношение (таблица). Выделение этих сортов необходимо для оценки производительности оборудования, выбора технологических схем и стадий измельчения, для интенсификации процесса раскрытия рудной фазы. Вынесение результатов исследования по измельчаемости на геологические планы позволит планировать добычу и переработку конкретных объемов различных по измельчаемости сортов руды и тем самым влиять на получение необходимых промышленных показателей.

Вопрос о связи обогатимости с измельчаемостью на данном этапе рабо-

ты не был решен однозначно, т.к. на месторождении в выделенном сорте по измельчаемости всегда присутствует несколько сортов по обогатимости (таблица).

Отмечена зависимость, что легкоизмельчаемые кварциты являются и легкообогатимыми, среднеизмельчаемые – легкообогатимыми, но с меньшей долей железа общего в концентрате, трудноизмельчаемые – среднебогатыми. Внутри сорта по измельчаемости отмечено снижение удельной производительности от ЛО к ТО – сорту.

Парная корреляция обогатимости и измельчаемости описывается логарифмической кривой и уравнением: $\beta = 5.227 \cdot \ln(q_{150}) + 72.925$ с коэффициентом корреляции: $r_{0.95}=0.387$.

В процессе измельчения происходит раскрытие рудной и нерудной фаз, что, в свою очередь, отражается на качестве получаемого концентрата:

$$\beta = 1.079 \cdot f_{\text{к-т р.ф.}} - 0.03f_{\text{к-т н.ф.}} - 34.992 \text{ при } r_{0.95}=0.864,$$

где $f_{\text{к-т р.ф.}}$ и $f_{\text{к-т н.ф.}}$ – степень раскрытия рудной и нерудной фаз концентрата соответственно.

Факторов, определяющих измельчаемость довольно много, наиболее информативные отражены в уравнении:

$$q_{50}^I = 0.00073 (-0.1+0.030) + \\ + 0.00148 (-0.030) - 0.000417 (M_{\text{маг}}) - \\ - 0.00013 (M_{\text{гем}}) - 0.00338 (M_{\text{сил}}) - \\ - 0.0251 (M_{\text{кв}}) + 0.01335 \beta - 0.54779; \\ r_{0.95}=0.544,$$

т.е. измельчаемость более всего зависит от массовой доли зерен магнетита крупностью минус 0.1 плюс 0.030 мм и менее 0.030 мм, количественной доли минералов (M): магнетита, гематита, силикатов, кварца и обогатимости исследуемого типа кварцитов.

Обратная взаимосвязь (обогатимости от измельчаемости) также имеет многофакторный характер:

$$\beta = -0.0022 (+0.1) - 0.0619 (-0.030) - \\ 0.0172 (M_{\text{маг}}) + 0.0730 (M_{\text{гем}}) + \\ + 0.2501 (M_{\text{руд.карб.}}) - 0.0048 (M_{\text{кв}}) + 0.7896 (q_{50}^I) + 0.5403 (f_{\text{к-т р.ф.}}) + \\ + 14.2898; r_{0.95}=0.918;$$

где - (+0.1) и (-0.030) – массовые доли зерен магнетита размером более 0.1 и менее 0.030 мм соответственно; q_{50}^I – измельчаемость по классу 0.050 мм; $f_{\text{к-т р.ф.}}$ – раскрытие рудной фазы в концентрате.

Следовательно в основу классификации по измельчаемости могут быть положены информативные параметры вещественного состава (химического, минерологического, гранулометрического), измельчаемость (удельная производительность мельницы), обогатимость (массовая доля железа в лабораторном концентрате), раскрытие минеральных зерен в продуктах обогащения.

Многофакторная зависимость измельчаемости и обогатимости железистых кварцитов от структурно-текстурных особенностей, вещественного состава, морфологии и размера зерен, сложности границ срастания обусловлена неоднозначными пер-

вично-генетическими особенностями и сложными наложенными процессами, которые оказались на физико-механических и технологических свойствах [4].

Одним из однозначных и убедительных критериев оценки физико-механических свойств может быть микротвердость (МТ) основных минералов, слагающих железистые кварциты. Значения микротвердости минералов отражают условия их образования, зависят от химического состава и структурных особенностей. Измерения микротвердости позволяют установить [4]:

- изменение микротвердости в различных генерациях одного и того же минерала;
- изменение МТ в зависимости от сорта кварцитов по обогатимости;
- изменение МТ в зависимости от сорта по измельчаемости.

Значениями микротвердости подтверждены выделенные по другим признакам генерации магнетита, гематита и кварца; показано, что происходит увеличение МТ главных минералов железистых кварцитов от легко- к трудноизмельчаемому сорту. Установлены более высокие значения этого параметра для трудноизмельчаемых кварцитов; оценено изменение МТ минералов в рудах, отличающихся по минеральному составу, измененных под воздействием наложенных процессов.

Генетические особенности микротвердости основных минералов наряду с другими физико-механическими свойствами железистых кварцитов могут быть использованы для решения практических задач рудоподготовки, усреднения шихты по прочностным характеристикам, прогнозирования поведения рудной шихты в процессах дробления и измельчения.

Таким образом, для успешного прогнозирования геолого-технологических показателей в процессе добычи и переработки железистых кварцитов и управления качеством продукции необходимо постоянное совершенствование методов детального изучения минерально-сырьевой базы

и использования совокупности признаков, несущих информацию о сырье и поведении его в процессе переработки.

Разнообразие и изменчивость свойств минерального сырья требуют усреднения его по ряду наиболее информативных критериев.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пирогов Б.И. Геологоминералогические факторы, определяющие обогатимость железных руд типа джеспилитов. – В сборнике «Изучение вещественного состава и технологических свойств железных руд», вып 10. Механобрчермет. – М., Недра, 1969. – С. 27-43.
2. Гзоян Т.Н., Макуха Л.П. Технологическая оценка рудного сырья на Михайловском ГОКе – «Горный журнал», 2002, №7, с. 73-75.
3. Барский Л.А., Козин В.З. Системный анализ в обогащении полезных ископаемых. – М.: Недра, 1978. – С. 486.
4. Гзоян Т.Н., Мельникова Н.Д. Влияние микротвердости основных минералов железистых кварцитов на технологические свойства. – «Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых», 2001, №3, с. 112-122. ГИАБ

Коротко об авторах

Гзоян С.Р. – научный сотрудник ФГУП ВИОГЕМ, г. Белгород, viogem@mail.belgorod.ru



РУКОПИСИ,

ДЕПОНИРОВАННЫЕ В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ГОРНОГО УНИВЕРСИТЕТА

Пирогов Г.Г., Пакулов В.В. Технология разработки маломощных крутопадающих жил слабонаклонными слоями с гранулированной гидравлической закладкой и применением комплексов малогабаритных самоходных машин (730/01-10 от 23.09.09 г.) 8 с.

Разработаны методические рекомендации для практического применения предложенной нами технологии разработки маломощных крутопадающих жил слабонаклонными слоями с закладкой выработанного пространства гидравлической гранулированной закладочной смесью на основе лежальных хвостов обогащения и применением комплексов самоходных машин при проектировании строительства и эксплуатации горных предприятий, а также в курсовом и дипломном проектировании при подготовке горных инженеров. В основу рассматриваемой технологии положен способ разработки маломощных крутопадающих жил, на который нами получено положительное решение о выдаче патента.