

родовищ корисних копалин із застосуванням критерію максимуму прибутку в умовах ринкової економіки // Вісник Криворізького національного університету – вып. №37, -2014, -С. 273-276.

УДК 553.3:622.27

ГРИЦЕНКО А.Н. младший научный сотрудник, ЧЕРКАСОВ А.В. старший научный сотрудник, ШВИДКИЙ А.В. научный сотрудник, ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

## РАСЧЕТ ОПТИМАЛЬНОЙ СЕТИ ГЕОФИЗИЧЕСКОГО ОПРОБОВАНИЯ РУДНЫХ БЛОКОВ

*В статье рассмотрено влияние количества опробуемых скважин и их расположение на точность геофизического опробования блока.*

*В статті розглянуто вплив кількості випробовуваних свердловин та їх розміщення на точність геофізичного випробовування блоку.*

*The paper considers the influence of the number of probued wells and their location on the accuracy of geophysical testing unit.*

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** Месторождения железистых кварцитов, обрабатываемые карьерами горно-обогатительного комплекса ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог», имеют сложное геологическое строение (перемещаемость железистых и сланцевых горизонтов, наличие разрывных нарушений и складчатости разных порядков). Рудные толщии месторождения существенно различаются по минеральному и химическому составу, текстурно–структурным признакам, физико-механическим свойствам. Добываемая на карьерах руда имеет полиминеральный состав и представлена семью минеральными разновидностями магнетитовых кварцитов, которые разубоживаются некондиционными прослоями. Содержание железа общего в добытой руде колеблется в диапазоне от 20 до 40%, содержание железа, связанного с магнетитом – от 10 до 35%.

Существующая на горно-обогатительном комплексе ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог» система контроля качества минерального сырья в цепи «карьер - обогатительная фабрика» обеспечивает только периодический контроль качества на отдельных участках переработки руды, причем результаты этого контроля технологи получают только через 2 – 2,5 часа после отбора проб. В результате такого запаздывания возникает "цепная реакция" неоптимальных решений по корректировке технологического процесса, вызывающая снижение технико-экономических показателей переработки железорудного сырья.

Сырьевой базой ГОКа ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог» являются Новокриворожское и Валявкинское месторождения железистых кварцитов, расположенных в южной части Криворожского железорудного бассейна.

В геологическом строении месторождений принимают участие в основном породы Криворожской серии нижнего протерозоя, перекрытые осадочными образателями кайнозоя (глинами, песками, суглинками).

Криворожская серия пород представлена четырьмя свитами: Новокриворожской (PR, nk), Скелеватской (PR, sk), Саксаганской (PR, sx) и Гданцевской (PR, qd). Новокриворожская свита характеризует самую нижнюю часть разреза, представлена в основном амфиболитами, амфиболовыми и кварцбиотитовыми сланцами, метапесчаниками. Скелеватская свита, представлена аркозовыми песчаниками, филлитовыми и тальковыми сланцами. Саксаганская свита состоит из семи железистых и сланцевых пород (горизонтов), чередующихся между собой.

На площади Новокриворожского месторождения распространены горные породы первого, второго железистых горизонтов и первого, второго, третьего, четвертого – сланцевых. На площади Валявкинского – с первого по шестой железистых и сланцевых горизонтов.

Гданцевская свита характеризуется метапесчаниками, охристыми, кварцбиотитовыми, кварц-хлоритовыми, гетитмагнетитовыми сланцами, отмечаются залежи богатых железных руд.

Новокриворожское месторождение, отрабатываемое карьером № 2-бис, приурочено к ядру нижней подсвиты средней железорудной свиты. К продуктивным толщам относятся железистые кварциты первого и второго железистых горизонтов. Средняя мощность указанных горизонтов, включая разделяющий их второй сланцевый горизонт, составляет 200...250 м. В строении железистых горизонтов выделяются следующие разновидности: магнетит-карбонат силикатные, силикат-карбонат-магнетитовые, карбонат-силикат-магнетитовые, магнетитовые. Железистые горизонты характеризуются весьма неравномерным распределением железных компонентов. Средняя часть сложена богатыми разновидностями кварцитов с содержанием железа связанного с магнетитом, достигающим 30...32%, переходные пачки к сланцевым горизонтам сложены магнетит-силикат-карбонатными, магнетит-силикатными кварцитами с маломощными сланцевыми прослоями, количество которых увеличивается ко второму сланцевому горизонту.

Среднее содержание железа, связанного с магнетитом, в переходных пачках колеблется от 8 до 15%, мощность их изменяется от 5 до 35 м. Второй сланцевый горизонт, разделяющий первый и второй железистые горизонты, пользуется повсеместным распространением и имеет среднюю мощность 10...12 м.

Продуктивные толщи первого и второго железистых горизонтов перекрывают породы третьего и четвертого сланцевых горизонтов.

В структурном отношении месторождение сложное. Ингулецкая антиклиналь на месторождении – структура первого порядка. В ее пределах четко выделяются складки второго, третьего порядков, которые играют существенную роль при эксплуатации месторождения.

Ингулецкая антиклиналь осложнена Новокриворожским разломом, который разделяет ее на две части – восточную и западную. К разлому примыкают разрывные нарушения более низкого порядка, которые разбивают месторождение на более мелкие блоки с небольшой амплитудой смещения. При отработке месторождения они играют большую роль, так как перемещения достигают 15 м.

В геологическом строении месторождения принимают участие породы трех свит Криворожской серии. Нижняя свита  $K_1^I$  делится на три горизонта: аркозо-кварцитовый, филлитовый и тальковый. Аркозо-кварцитовый горизонт  $K_1^I$  представлен конгломератами, аркозовыми метапесчаниками и кварцитами, чередующимися между собой. Мощность горизонта 98 м.

Сложность геологического строения месторождения не позволяет с достаточной степенью достоверности прогнозировать качественные показатели руды, поступающей на переработку в конкретный промежуток времени и обеспечивать принятие технологических решений по оптимальным режимам переработки сырья.

Наличие достоверной и своевременной информации о качестве железорудного сырья на всех этапах технологической цепи позволит снизить потери и разубоживание, повысить извлечение железа в концентрат, снизить затраты энергоносителей и материальных ресурсов, что в конечном итоге приведет к общему снижению себестоимости продукции.

Достоверность информации о качественных показателях определяется тремя факторами: частотой съема основных информационных признаков, точностью формирования базы данных и репрезентативностью информации.

Расхождение данных геофизического и геологического опробования по отдельным скважинам на высоту уступа составляет  $\pm 1,1\%$   $Fe_{общ.}$  и  $\pm 1,3\%$   $Fe_{маг.}$ . Статистический анализ этих расхождений приводит к уменьшению разницы данных геологического и геофизического опробования по рудному блоку в целом, качественная характеристика руд которого оценивается в настоящее время примерно по 3-10 разведочным скважинам. Сеть разведочных скважин для месторождений Криворожского типа в соответствии с рекомендациями составляет 35-50 м по простиранию и 25-40 м. по падению пород [1, 2, 3, 4]. Практика горнодобывающих предприятий Кривбасса показывает, что эта сеть на ряде месторождений является недостаточно обоснованной, что приводит к расхождению данных разведки и эксплуатации месторождений по качественной характеристике

руд. При опытно-методических работах на месторождениях Кривого Рога было установлено, что расхождения результатов геологического и геофизического опробования рудных блоков по разведочным скважинам (3-8 скважин на блок) составляет  $\pm 0,76\%$   $Fe_{\text{общ}}$  и  $\pm 1,0\%$   $Fe_{\text{магн.}}$ . Однако если использовать для сопоставления данные каротажа по большему количеству взрывных, чем разведочных скважин, то расхождения в некоторых случаях увеличиваются, что особенно сказывается на определении среднего содержания  $Fe_{\text{магн.}}$  [5]. Так, например, по блоку 45 (Скелеватского месторождения ЮГОКа) расхождение данных параллельного опробования по 8 разведочным скважинам составляет  $+0,9\%$   $Fe_{\text{магн.}}$ , а расчет по данным КМВ 20 скважин (включая 8 разведочных) увеличивает расхождение до  $1,6\%$   $Fe_{\text{магн.}}$ . Расчет по блоку 62 (Ингулецкого месторождения ИнГОКа) по 6 разведочным скважинам дает разницу в  $0,9\%$   $Fe_{\text{магн.}}$ , а по 13 скважинам она увеличивается до  $1,9\%$   $Fe_{\text{магн.}}$ .

**Постановка задачи.** Приведенные данные свидетельствуют о том, что применяемая в настоящее время сеть разведочных скважин должна быть сгущена в соответствии со сложностью геологического строения конкретного блока. К такому же выводу приходят и сотрудники геологической службы комбинатов, что отмечалось ими на производственных совещаниях, конференциях, семинарах и в печати. Применение экспрессной методики геофизического опробования на основе станции «Карьер-Кривбасс» создает практические возможности сгущения сети опробования путем каротажа взрывных скважин. Однако опробование каждой взрывной скважины (т.е. сгущение сети каротажа до  $6 \times 6$  м.) неоправданно с точки зрения практической и геологической целесообразности. В связи с этим важное значение приобретает вопрос выбора оптимальной сети геофизического опробования рудных блоков.

**Изложение материала и результаты.** Некоторыми авторами этот вопрос решается путем такого числа опробуемых скважин, которое обеспечивает удовлетворительное схождение с данными геологического опробования, исходя из статистического характера этих расхождений по отдельным скважинам [5]. Эта методика естественно предполагает, что геолого-химическое опробование является достоверным. Однако, сказано выше, такая оценка геолого-химического опробования в ряде случаев является необоснованной. Поэтому рекомендуется другой подход к решению этого вопроса.

При геологоразведочных работах на каком-либо месторождении сеть опробования обычно выбирается на основании особенностей геологического строения участка и характера распределения полезного компонента в рудах (коэффициента вариации оруднения  $V$ ). Для расчета сети опробуемых скважин рекомендуется использовать установленное по данным экспериментальным и теоретических исследований выражение, связывающее число опробуемых скважин  $N$  (рудных пересечений, проб) с коэффициентом вариации оруднения  $V$  :

$$N = \left( \frac{d \cdot V \cdot \bar{x}}{100 \cdot \varepsilon} \right)^2 \quad (1)$$

где  $d$  – аргумент функции нормального распределения вероятностей (при доверительной вероятности равной 0,68  $d = 1$ );

$\bar{x}$  – среднее содержание элемента в рудах, %;

$\varepsilon$  – заданный уровень ошибки в абсолютных значениях содержания полезного компонента, %

Условием применения формулы (1) является соответствие распределения значения геологического признака (содержания полезного компонента) нормальному закону, что имеет место для месторождений железистых кварцитов Кривбасса [6, 7]. Как видно из выражения (1), сеть опробования зависит от характера распределения железа в рудах (коэффициента вариации оруднения). Однако, как было сказано выше, достоверность геолого-химического опробования зависит не только от места взятия проб и их числа, но и от погрешностей их отбора и подготовки и собственно погрешности химического анализа. Если предположить что статистическое распределение ошибки за счет этих факторов так же, как и вариаций коэффициента оруднения, носит нормальный характер, то при расчете  $N$  эти факторы должны быть приняты во внимание. Анализ данных показывает, что общая ошибка геолого-химического опробования связана в основном с природной дисперсией (коэффициентом вариации оруднения), составляющей 95% суммарной ошибки опробования на  $Fe_{\text{общ}}$  и 80% - на  $Fe_{\text{магн.}}$ . В суммарной погрешности геофизического опробования природная дисперсия составляет 66% для данных ГГК и 75% для данных КМВ от суммарной ошибки определения  $Fe_{\text{общ}}$ ,  $Fe_{\text{магн.}}$  этими методами, т.е. основной вклад в ошибку геофизического опробования также, как и геолого-химического опробования вносит природная дисперсия распределения железа, однако ошибка самого метода опробования также весьма существенна (от 5 до 34%) и поэтому пренебрегать ею нельзя.

Неучет в формуле (1) ошибки самого метода опробования может привести к уменьшению расчетного числа опробуемых скважин и тем самым снижению достоверности получаемых данных опробования. Следовательно, при расчетах  $N$  по формуле (1) следует использовать вместо  $\delta_n$  значение суммарной погрешности выбранного метода опробования, т.е. для геолого-химического опробования  $\delta_r$ , а для геофизического опробования –  $\delta_{\text{ф}}$ .

Для примера рассмотрим результаты опробования блока 14-51 на уступе 14/29 карьера №3 НКГОКа. По данным КМВ было определено содержание  $Fe_{\text{магн.}}$ . По каждой взрывной скважине блок. Среднее содержание  $Fe_{\text{магн.}}$  по всему блоку (50 скважин) составляет 24,4%, при среднеквадратическом отклонении по отдельным скважинам в  $\pm 4,1\%$ .

Если учесть все составляющие элементы погрешности геофизического опробования, то величина  $\delta_{\text{ф}}$  для расчетов по формуле (1) должна быть

равной 21,3%. При заданном уровне допустимой погрешности в оценке содержания железа по блоку в 1,25%  $Fe_{\text{магн.}}$  (5% относительных) количество скважин для опробования составляет 18. Выборочная статистическая обработка данных, приведенных в табл. 3, показывает, что для получения результата с относительной погрешностью менее 5% по  $Fe_{\text{магн.}}$  достаточно взять результаты определения  $Fe_{\text{магн.}}$  по каждой третьей скважине, т.е. примерно по 17 скважинам. Только расчет по каждой 4 или 5 скважине (10-13 скважин) дает результат, отличный от среднего значения более, чем на 5%. Таким образом, экспериментальные полностью подтверждают правильность расчета по формуле (1) с учетом погрешностей самого метода опробования.

В рассмотренном примере по блоку 14-51 был взят средний коэффициент вариации оруднения (16,4%). Геологические данные по месторождениям железистых кварцитов Кривбасса [11,16,26] указывают на более неравномерный характер распределения оруднения вкрест простирания пород (вкрест слоистости), чем по простиранию (по слоистости). Это обстоятельство должно быть учтено при разбивке сети опробования. Практически следует исходить из фактической схемы разбуривания блока. Как правило, рудные блоки имеют ширину в 3-4 ряда скважин (20-30 м.) при длине 15-25 рядов (90-150 м.). Для расчета числа опробуемых скважин по формуле (1) следует взять наибольшее значение  $V$  по рудам данной разновидности в контурах (размерах) опробуемого блока. Учитывая, что вариации коэффициента оруднения вкрест простирания пород наибольшие, целесообразно опробование скважин проводить по перпендикулярным к простиранию пород профилям. Наименьший шаг опробования определяется расстоянием между взрывными скважинами (6-3м.). Такой интервал является достаточным для получения необходимой детальности и достоверности опробования. Расстояние между профилями оценивается из величины  $N$  как частное от деления  $N$  на количество скважин в ряду. К примеру, если  $N = 18$ , а число скважин в ряду 3, то количество рядов опробования должно быть равно 6. При общем количестве скважин в блоке 50 опробование проводится через 2 ряда. Если при том же  $V$  количество скважин в блоке 100, то можно проводить опробование через 4 ряда и т.д.

**Выводы.** Многолетний опыт работ на месторождениях Кривбасса показывает, что очень важно правильно рассчитать  $N$ . Даже при равномерном распределении опробуемых скважин в пределах блока данные получаются вполне надежными. Только в условиях приконтактной зоны различных пород, в особенности руд и вмещающих пород, вариации коэффициента оруднения значительно возрастают, что требует сгущения сети опробования в направлении вкрест простирания контакта. В связи с этим расчет сети опробования на конкретном блоке должен проводиться

геологом рудника (участка) с учетом всех имеющихся геологических материалов.

*Список литературы:*

1. Селектор С.М. Эксплуатационная разведка и некоторые вопросы рудничной геологии железорудных месторождений Кривого Рога. -М., 1963, -140 с.

2. Методическое руководство для разведочной и рудничной геологической службы месторождений криворожского типа. Под ред. Я.Н. Беляева, -Киев -1963, -396 с.

3. Казанова В.А., Малютин Е.И. Методика разведки железистых кварцитов в Криворожском бассейне. В кн. Изучение вещественного состава и технологических свойств железных руд. вып.10, -М. -1969, -С. 22-27.

4. Поддубный А.П., Олейников П.Н. К вопросу о розряжении сети опробования взрывных скважин при открытой разработке месторождений. В кн. Рудничная геология, гтдрогелогия, геофизика. Белгород 1970, -С. 99-106.

5. Тимофеев Е.В. Алешин Н.С. и др. Отчёт по теме 23 «Усовершенствование и внедрение методики геофизического опробования рудных блоков по взрывным скважинам при карьерной отработке магнетитовых месторождений Кривбасса» -Л., 1972. Фонды ВИГРа.

6. Пирогов Б.И. Геолого-минералогические факторы, определяющие обогатимость железистых кварцитов. -М., -1969, -239 с.

7. Гершойг Ю.Г. Вещественный состав и оценка обогатимости железных руд. -М., -1968, -200 с.