Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова,
1983, т. 98

УДК 550.835

ЯДЕРНО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ КАРОТАЖ ВЗРЫВНЫХ КАРЬЕРНЫХ СКВАЖИН НА МЕДНО-КОЛЧЕДАННОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ

А.А.ВОЛКОВ.

Опробование руды в массиве является важным звеном в цепи горно-геологических задач, решаемых при эксплуатации месторождений. Информация о пространственном расположении руды и ее качестве используется при организации горных работ, в том числе при проведении мероприятий по снижению потерь и разубоживания руды [2] и при планировании работы рудников в режиме усреднения [3].

Правильность организации горно-добычных работ существенно зависит от степени достоверности геологических данных. Основным средством получения геологической информации является эксплуатационная разведка, которая проводится на опережающем и сопровождающем по отношению к добычным работам этапах [2]. Максимально достоверные данные могут быть получены на сопровождающем этапе, когда исследования проводятся по наиболее густой сети.

При карьерной добыче геологическую информацию получают за счет опробования шлама взрывных скважин, которые бурятся по сети 5х5–8х8 м. Недостатком традиционного шламового опробования является низкая оперативность, в связи с чем настоятельно необходима разработка экспрессных геофизических методов каротажа взрывных скважин в карьере, не уступающих по точности шламовому опробованию.

Каротаж взрывных карьерных скважин в производственных масштабах осуществляется лишь на месторождениях железных руд, где применимы сравнительно простые и глубинные геофизические методы (гамма-гамма-метод и метод магнитной восприимчивости).

Ряд исследований по каротажу взрывных карьерных скважин выполнен на медно-рудных месторождениях Казахстана. При определении концентраций железа и меди в медно-магнетитовых, медно-скарновых и медно-порфировых рудах рентгенорадиометрическим методом получены пороги чувствительности 1,0 и 0,08 % соответственно, а точность рентгенорадиометрического каротажа превышает точность шламового опробования [4]. Другими исследователями изучены возможности спектрометрического нейтронного гамма-метода для определения концентрации меди в рудах медно-колчеданного месторождения при концентрации цинка до 1–3 %. Получены удовлетворительные результаты. Отмечается мешающее влияние кадмия. Другие работы в этом направлении отсутствуют.

Таким образом, до настоящего времени геофизические методы опробования медно-цинковых колчеданных руд в условиях карьерных скважин не разработаны.

Медно-колчеданное месторождение относится к среднетемпературным месторождениям гидротермально-метасоматического типа. Основными рудными минералами являются пирит, халькопирит, сфалерит. Выделение геолого-промышленных типов руд и определение их качества осуществляется по концентрации меди, цинка и серы, причем бортовые содержания меди и цинка составляют соответственно 0,4 и 1,0 %.

Медь и цинк определяли рентгенорадиометрическим методом, серу – селективным гамма-гамма-методом по корреляции с эффективным атомным номером руды (коэффициент корреляции 0,97).

Основные трудности при каротаже взрывных карьерных скважин малоглубинными ядерно-геофизическими методами связаны с их неудовлетворительным техническим состоянием, что выражается в зашламованности стенок скважин, сочетающейся с кавернозностью, а также в возможности вывалов кусков руды в процессе каротажа.

Каротаж скважин выполняли с помощью специально разработанного скважинного прибора [1] и четырехканального спектрометра рентгеновского и гамма-излучения, снабженного дифференциальной системой АРУ. В качестве первичного излучателя использовали изотоп ^{109}Cd. Регистрацию излучения осуществляли в окнах 5,8–6,8 кэВ (окно железа); 7,1–8,6 кэВ (окно меди); 8,1–9,8 кэВ (окно цинка) и 19,2–24,0 кэВ (окно рассеянного излучения источника). Потоки излучения меди и цинка рассчитывали по системе линейных уравнений с учетом фона, обусловленного рассеянным излучением источника. Аналитическим параметром для определения серы служила величина потока рассеянного излучения. Таким образом одновременно определяли сразу три элемента.

При апробации ядерно-геофизических методов каротажа на месторождении изучали возможность исследования распределения рудных компонентов как по стволу скважин (по разрезу), так и от скважины к скважине (в плане). Для этого результаты каротажа сопоставляли с результатами поинтервального (1 м) шламового опробования или с результатами шламового опробования, осредненного по скважине. Предварительное градуирование аппаратуры выполняли на шламовых пробах с известным содержанием рудных компонентов.

Сравнение каротажа и шламового опробования выполнено по средним результатам, различие которых характеризует систематическую погрешность измерений, и по дисперсиям результатов, включающим случайную погрешность измерений. Так как содержания элементов в исследуемой выборке соответствуют логнормальному закону распределения, сравнивали средние логарифмы и дисперсии логарифмов содержаний.

Результаты сравнения (табл.1) показывают, что при определении меди шламовое опробование и каротаж являются равноценными методами, так как средние логарифмы содержаний $\overline{\lg q}$ и полные дисперсии логарифмов содержаний D по выборке из 87 скважин различаются незначительно. То же можно

Таблица 1

Сравнение способов опробования взрывных карьерных скважин

Элемент	$\overline{\lg q}$		Оценка значимости различия $\overline{\lg q}$ по t-критерию (P = 0,95)		D		Оценка значимости различия D по F-критерию (P = 0,95)	
	Шламовое опробование	Каротаж	Расчетное значение	Табличное значение	Шламовое опробование	Каротаж	Расчетное значение	Табличное значение
Медь	-0,206	-0,198	0,52	1,99	0,443	0,455	1,02	1,43
Цинк	-0,205	-0,098	8,03	1,99	0,324	0,340	1,05	1,43
Сера	0,996	1,061	6,32	1,99	0,220	0,162	1,37	1,43

Таблица 2

Корреляционный анализ результатов шламового опробования и ядерно-геофизического каротажа

Элемент	В плане (N = 87)			По разрезу (N = 123)		
	Коэффициент корреляции	Оценка значимости коэффициента корреляции по t_r-критерию (P = 0,95)		Коэффициент корреляции	Оценка значимости коэффициента корреляции по t_r-критерию (P = 0,95)	
		Расчетное значение	Табличное значение		Расчетное значение	Табличное значение
Медь	0,972	38,14	1,99	0,479	6,00	1,98
Цинк	0,881	17,17	1,99	0,755	12,67	1,98
Сера	0,934	24,10	1,99	0,849	17,67	1,98

сказать о дисперсиях логарифмов содержаний цинка и серы. Что касается средних логарифмов содержаний последних, то для них наблюдается значимое различие. Это является следствием избирательного выноса шлама на дневную поверхность в процессе бурения. Сегрегация шлама служит источником систематических погрешностей геологического опробования.

Корреляционный анализ результатов шламового опробования и ядерно-геофизического каротажа (табл.2) свидетельствует о наличии значимой статистической связи между содержаниями всех трех элементов, определенными геологическим и геофизическим методами. При оценке корреляционной связи результатов измерений, осредненных по скважине (что соответствует распределению элементов по отрабатываемому уступу в горизонтальной плоскости - в плане), получены высокие коэффициенты корреляции по меди, цинку и сере: 0,972, 0,881 и 0,934 соответственно. Это говорит о том, что случайное расхождение данных шламового опробования и каротажа незначительно, и в целом результаты измерений соответствуют друг другу (систематическое расхождение

Таблица 3

Сопоставление результатов шламового опробования и ядерно-геофизического каротажа в среднем по скважине

Интервал содержаний, %	Количество сопоставлений	Среднеквадратическая погрешность воспроизводимости, %		Среднеквадратическое расхождение, %	Среднеквадратическая погрешность, %	
		Шламовое опробование	Каротаж		Шламовое опробование	Каротаж
			Медь			
0–0,49	42	0,12	0,10	0,33	0,22	0,24
0,5–4,99	31	0,36	0,28	0,69	0,47	0,51
5–14,99	14	1,04	0,61	1,82	1,23	1,35
			Цинк			
0–0,49	42	0,15	0,09	0,25	0,16	0,17
0,5–1,99	23	0,30	0,27	0,73	0,49	0,53
2–4,99	22	0,59	0,50	1,05	0,71	0,76
			Сера			
0–9,99	44	2,58	1,16	3,55	3,04	2,01
10–29,99	25	4,72	1,72	8,26	6,82	4,67
30–49,99	17	2,69	2,27	4,32	3,51	2,49

Таблица 4

Сопоставление результатов шламового опробования и ядерно-геофизического каротажа по метровому интервалу

Интервал содержаний, %	Воспроизводимость каротажа		Сопоставление результатов шламового опробования и каротажа		Среднеквадратическая погрешность, %	
	Количество сопоставлений	Среднеквадратическая погрешность, %	Количество сопоставлений	Среднеквадратическое расхождение, %	Шламовое опробование	Каротаж
			Медь			
0–0,49	21	0,09	45	0,41	0,32	0,25
0,5–4,99	27	0,23	65	0,76	0,62	0,44
			Цинк			
0–0,49	10	0,10	20	0,48	0,33	0,35
0,5–1,99	13	0,26	54	0,57	0,40	0,42
2–4,99	18	0,38	41	1,25	0,86	0,92
			Сера			
0–9,99	46	0,88	82	3,27	2,39	2,23
10–29,99	24	0,88	39	5,41	3,96	3,88

в данном случае не рассматривается). При оценке корреляционной связи между результатами шламового опробования и каротажа по стволу скважины в расчете на метровый интервал, что соответствует распределению элементов в вертикальной плоскости (по разрезу), получены менее высокие коэффициенты корреляции. Для меди, цинка и серы их величины соответственно равны 0,479, 0,755 и 0,849. Как видно из приведенных данных, наименьшее значение коэффициента корреляции получено для меди. Это связано прежде всего с тем, что вариации содержаний меди по стволу скважины значительно меньше (в 3 раза), чем в плане (табл.3, 4), из-за чего корреляционное поле принимает изометричную форму, а коэффициент корреляции резко уменьшается. Для цинка интервал содержаний сохраняется, для серы уменьшается лишь в I,6 раза, благодаря чему коэффициенты корреляции остаются достаточно высокими.

Сопоставление данных шламового опробования и каротажа по интервалам содержаний позволяет сделать более детальный анализ результатов апробации ядерно-геофизических методов на месторождении. Выполненные расчеты (табл.3, 4) показывают, что во всех случаях расхождение данных каротажа и химического анализа шлама значительно превышает погрешность воспроизводимости обоих видов опробования. Этот факт обусловлен, во-первых, неоднородностью оруденения, во-вторых, другими, помимо погрешности воспроизводимости, ошибками как геологического, так и геофизического опробования.

С помощью дисперсионного анализа можно разделить расхождение результатов шламового опробования и каротажа на составляющие части, соответствующие погрешностям того и другого методов. Как известно [5], полная дисперсия результатов опробования

$$D = D_0 + D_i \quad , \tag{I}$$

где D_0 - природная дисперсия содержаний элементов; D_i - аналитическая дисперсия метода опробования.

В данном случае можно записать:

$$D_1 = D_0 + D_{ш.о}, \tag{2}$$

$$D_2 = D_0 + D_к . \tag{3}$$

Вычитая из (2) выражение (3), получаем:

$$\Delta D = D_1 - D_2 = D_{ш.о} - D_к . \tag{4}$$

Кроме того, известно [5], что дисперсия разности содержаний (в данном случае логарифмов содержаний) D_Δ равна сумме аналитических дисперсий сравниваемых методов опробования:

$$D_\Delta = D_{ш.о} + D_к . \tag{5}$$

Используя выражения (4), (5), определим $D_{ш.о}$ и $D_к$.

Из расчетов, выполненных по осредненным на скважину результатам (табл.5), видно, что $D_{ш.о}$ и $D_к$ по меди и цинку не имеют значимого раз-

Таблица 5

Дисперсионный анализ результатов шламового опробования и ядерно-геофизического каротажа

Элемент	ΔD	D_{Δ}	$D_{ш}$	$D_{К}$	Оценка значимости различия $D_{ш.о}$ и $D_{К}$ по F-критерию (P = 0,95)	
					Расчетное значение	Табличное значение
	Осредненные по скважине (N = 87)					
Медь	-0,012	0,144	0,065	0,075	1,15	1,43
Цинк	-0,016	0,175	0,080	0,095	1,19	1,43
Сера	0,058	0,112	0,085	0,027	3,15	1,43
	По метровому интервалу (N = 123)					
Медь	0,035	0,119	0,077	0,042	1,83	1,34
Цинк	-0,004	0,095	0,045	0,049	1,09	1,34
Сера	0,007	0,101	0,054	0,047	1,15	1,34

личия. По сере $D_{ш.о}$ в 3 раза больше $D_{К}$; в этом случае различие дисперсий значимое, каротаж является более точным методом.

Дисперсионный анализ результатов поинтервального шламового опробования и каротажа (табл.5) показывает, что имеет место значимое различие аналитических дисперсий по меди: $D_{ш}$ почти в 2 раза больше $D_{К}$. По цинку и сере значимое различие аналитических дисперсий отсутствует.

Выполненное с привлечением данных дисперсионного анализа разделение величин среднеквадратических расхождений в интервалах содержаний позволяет оценить погрешности шламового опробования и ядерно-геофизического каротажа в окончательном виде (см. табл.3, 4).

Помимо точности, важной характеристикой разрабатываемого метода опробования является порог чувствительности (предел обнаружения), который определяется как минимальное содержание элемента, поддающееся измерению применяемым методом с требуемой надежностью. Наиболее подходящим критерием оценки порога чувствительности в данном случае является двойная среднеквадратическая погрешность воспроизводимости в интервале наименьших содержаний элементов. Исходя из этого критерия, порог чувствительности по меди и цинку равен 0,15–0,20 %,(с доверительной вероятностью 0,98).

Таким образом, апробация ядерно-геофизических методов каротажа на месторождении и сравнение их с геологическим опробованием шлама показывает, что точность каротажа выше точности шламового опробования, так как, во-первых, измерения в скважине исключают систематическую погрешность опробования, во-вторых, случайная погрешность каротажа в среднем меньше случайной погрешности шламового опробования. Полученные пороги чувствительности и точность ядерно-геофизических методов позволяют уверенно выделять

бортовые концентрации меди и цинка и изучать распределение полезных компонентов в рудах месторождения как по стволу скважин, так и в плане.

ЛИТЕРАТУРА

1. Арцыбашев В.А., Волков А.А., Дугин В.В. Прибор для ядерно-геофизического опробования карьерных скважин. – В кн.: Геофизическая аппаратура. Л., Недра, 1981. Вып.72.

2. Байков Б.Н. Снижение потерь и разубоживания руд на карьерах цветной металлургии. М., Недра, 1977.

3. Бастан П.П., Азбель Е.И., Ключкин Е.И. Теория и практика усреднения руд. М., Недра, 1979.

4. Бычковский В.А., Бурменский А.П. Применение рентгенорадиометрического метода для опробования медных руд на горно-рудных предприятиях Северного Прибалхашья. – В кн.: Ядерно-физические методы опробования и анализа на предприятиях цветной металлургии (тезисы докл. II республ. научн.-техн. совещания). Ташкент, Средазнипроцветмет, 1977.

5. Квятковский Е.М., Крицук И.Н., Нюппенен Т.И. и др. Геохимические методы поисков. Л., изд. ЛГИ, 1974.