Записки Ленинградского ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова
т. LX, вып. 2, 1971 г.

О ДОСТОВЕРНОСТИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ ДАННЫХ В ПРЕДЕЛАХ САРБАЙСКОГО КАРЬЕРА

Н. И. Руденко, М. М. Васильев, В. Т. Кирей, Н. Л. Шаманина, Л. Н. Парвиайнен, А. А. Кузьменков

В стадию детальной разведки участок карьера разбурен колонковыми скважинами на всю глубину оруденения по сети 100×50 *м* (100×75 *м* — в плоскости падения рудного тела). В стадию эксплуатационной разведки — на глубину 30—40 *м* по сети 50×25 *м* (50×40 *м* в плоскости падения рудного тела). Сетью 50×25 *м* разбурена центральная часть карьера, где сосредоточены в основном богатые и бедные руды. Висячий и лежачий бока рудной залежи (убогие руды и безрудные прослои) разведаны по сети 100×50 *м*. Разведочные скважины опробованы в пределах рудной залежи секционно, с длиной секции 2—3 *м*. Пробы проанализированы на железо, серу, фосфор. Взрывные скважины глубиной 10—20 *м* пробурены по сети 6×6 *м*, опробованы одной пробой и проанализированы на железо и серу.

Максимальная глубина карьера 170 *м* от поверхности современного рельефа. На протяжении 1200 *м* вскрыта и отрабатывается в основном Восточная рудная залежь, залегающая согласно с вмещающими породами и падающая на запад под углами 45—50°. Она имеет довольно выдержанную пластообразную форму и сложное внутреннее строение, обусловленное многократным чередованием по мощности различных типов и промышленных сортов руд. Внутреннее строение залежи осложнено наличием прослоев и тектонических блоков безрудных скарнов, тел диоритовых порфиритов, даек гранит-порфиров и т. д. В пределах залежи установлен ряд разрывных нарушений преимущественно сбросового типа, широтного и близширотного простирания, с крутыми (75—90°) углами падения на север и юг. Эти нарушения разбивают Восточную залежь на серию блоков, смещенных относительно друг друга. Амплитуды смещений 5—40 *м* в плане. Меридиональные нарушения круто падают на запад или восток.

Слагающие залежь магнетитовые руды в основном мелко- и среднезернистые, преимущественно полосчатой текстуры. В зависимости от содержания железа выделяются следующие сорта руд: богатые — более 50 %, бедные — 50—30% и убогие — 30—20% железа.

При определении достоверности геологоразведочных данных использованы: план расположения скважин детальной и эксплуатационной разведок, сортовые планы четырех горизонтов (планы эксплуатационного опробования), геологические разрезы и данные опробования скважин детальной и эксплуатационной разведок. Достоверность

Таблица 1

Сравнительные данные опробования колонковых разведочных и эксплуатационных скважин ударно-канатного бурения

Параметр	Расчетная формула	Железо			Сера		
		Детальная разведка	Эксплуатационная разведка	Детальная + эксплуатационная разведка	Детальная разведка	Эксплуатационная разведка	Детальная + эксплуатационная разведка
Среднее содержание компонента в пробах скважин							
разведочных	$M_x = \frac{\Sigma_x}{n_x}$	45,13	47,28	46,33	3,86	4,49	4,20
эксплуатационных	$M_y = \frac{\Sigma_y}{n_y}$	48,52	47,00	47,67	4,15	4,52	4,35
Среднеквадратичное отклонение данных опробования скважин							
разведочных	$\sigma_x = \sqrt{\frac{\Sigma a_x^2}{n_x}}$	8,7966	8,0331	8,4463	0,9539	1,8139	1,5133
эксплуатационных	$\sigma_y = \sqrt{\frac{\Sigma a_y^2}{n_y}}$	8,2801	8,2516	8,2994	0,8185	2,3728	1,8358
Средняя квадратическая ошибка среднего содержания по скважинам							
разведочным	$m_x = \frac{\sigma_x}{\sqrt{n_x}}$	1,30	1,05	0,83	0,27	0,48	0,30
эксплуатационным	$m_y = \frac{\sigma_y}{\sqrt{n_y}}$	1,22	1,08	0,81	0,24	0,63	0,36
Коэффициент корреляции содержания компонента	$r = \frac{\Sigma a_x \Sigma a_y}{\sqrt{\Sigma a_x^2 \Sigma a_y^2}}$	+0,88	+0,68	+0,75	+0,72	+0,83	+0,80

Средняя квадратическая ошибка определения	$m_r = \frac{1 - r^2}{\sqrt{n}}$	0,033	0,070	0,043	0,139	0,083	0,07
Коэффициент вероятности систематической ошибки	$t = \frac{M_y - M_x}{\sqrt{m_x^2 + m_y^2 + 2m_x m_y r}}$	5,47	0,33	2,31	1,53	0,09	0,68
Вероятность наличия систематической ошибки, p*	—	0,999	0,26	0,98	0,87	0,08	0,51
Среднее значение систематической ошибки	$f = \frac{M_x}{M_y}$	0,939	1,01	0,97	0,93	0,99	0,96

* Берется из таблицы по величине t (В. И. Смирнов. Геологические основы поисков и разведки рудных месторождений. МГУ, 1957).

разведочных данных определена несколькими вариантами сопоставлений в основном по известной методике *. Во всех вариантах данные эксплуатационного опробования о количестве и качестве добытых руд принимались за абсолютно достоверные (100%).

Сопоставление данных опробования скважин колонкового и ударного бурения осуществлялось последовательным сравнением данных эксплуатационного опробования с опробованием скважин по результатам: а) детальной разведки, б) эксплуатационной, в) детальной и эксплуатационной вместе. По каждому из вариантов по четырем горизонтам оказались сопоставимыми соответственно 46, 58 и 104 пары скважин. Данные обрабатывались по формулам вариационной статистики. Как видно из табл. 1, детальная и эксплуатационная разведки (порознь и вместе) систематически занижают содержания железа и серы в рудах. На стадии детальной разведки по содержанию железа и серы фиксируется наибольшая систематическая ошибка — соответственно 6,99% и 7,00% в относительном выражении. На Соколовском и Сарбайском месторождениях (табл. 2) эта погрешность имеет одинаковый знак — минус. По Сарбайскому месторождению погрешность

Таблица 2

Относительная погрешность данных разведки к данным эксплуатации

Разведка	Относительные отклонения содержаний, %			
	железа по месторождениям		серы по месторождениям	
	Соколовскому	Сарбайскому	Соколовскому	Сарбайскому
Детальная	— 2,45	— 6,99	—28,84	— 7,00
Эксплуатационная	— 0,84	+ 0,60	—26,66	— 0,66
Детальная + эксплуатационная	— 0,94	— 2,81	—26,53	— 3,45

в определении железа почти в три раза превышает соответствующую погрешность по Соколовскому месторождению. В отношении же серы систематическая ошибка по Сарбайскому месторождению во много раз меньше, чем по Соколовскому. По-видимому, величина систематической ошибки зависит от содержания железа и серы в рудах, так как на Соколовском месторождении содержание железа заметно выше, а серы в несколько раз ниже, чем на Сарбайском.

При сопоставлении по методу разрежения и сгущения первым сравнивались средние содержания железа, серы, а также запасы руд на одном горизонте, полученные эксплуатационным опробованием при сети 6×6 *м* с соответствующими содержаниями и запасами, вычисленными по тем же данным для сетей: 10×10, 20×20, 30×30, 40×40, 50×50, 100×50 и 75×75. При методе сгущения использовано естественное сгущение сети от стадии детальной к стадии эксплуатационной

* А. С. Салимбаев и др. Сопоставление разведочных и эксплуатационных данных по Соколовскому карьеру. Изв. АН Каз. ССР, сер. геол., № 1, 1968.

Таблица 3

Расхождения в качественной характеристике сортов руд при разрежении разведочной сети

Промышленные сорта руд	Относительные отклонения средних содержаний железа и серы при сети 6 × 6 от сеток													
	10 × 10		20 × 20		30 × 30		40 × 40		50 × 50		100 × 50		75 × 75	
	железо	сера	железо	сера	железо	сера	железо	сера	железо	сера	железо	сера	железо	сера
Богатые	+ 0,78	— 5,56	+ 2,77	— 12,90	+ 0,58	+ 0,79	+ 1,45	+ 5,96	+ 3,76	+ 11,71	— 0,08	— 10,72	+ 1,32	— 45,64
Бедные	— 3,70	— 5,11	— 3,10	— 25,11	— 3,56	— 26,60	— 3,17	+ 8,30	— 5,68	— 28,94	+ 6,56	— 8,09	— 0,09	— 30,35
Убогие	— 4,27	—10,62	+ 0,36	— 26,42	+ 8,93	+ 75,47	— 12,12	Нет данных	— 19,83	—	—	—	—	—

разведки; по горизонту сравнивались данные эксплуатации с данными детальной разведки, а также детальной и эксплуатационной разведок вместе. В расчетах использованы данные 2630 скважин ударного бурения и 140 колонковых скважин. Данные опробования колонковых скважин сначала усредняли в пределах 10-метрового уступа, а затем определяли средние содержания для каждого сорта руды среднеарифметическим способом. Запасы руд по сети 6×6 *м* подсчитывали как произведение площади сорта, определяемой планиметром, на высоту уступа и объемный вес руды. Для прочих сеток количественные соотношения сортов руд и пустых пород определяли статистически.

Из табл. 3—5 видно, что как по одному, так и по другому методу относительные отклонения средних содержаний железа по богатым и бедным рудам в общем невелики (хотя для бедных они несколько выше) для всех стадий разрежения и сгущения, включая сеть 75×75 *м*. Относительные отклонения средних содержаний по сере для богатых руд вполне допустимы, а для бедных значительны (до 30%).

Относительные отклонения запасов руд по сортам колеблются в значительных пределах, но по общим запасам не превышают по методу разрежения ±3%, а по методу сгущения ±6%. Наибольшие погрешности по обоим методам сопоставления характерны для убогих руд как по содержанию компонентов, так и по запасам, что, очевидно, связано с незначительным количеством убогих руд по сравнению с общими запасами и их рассредоточенностью в карьере.

Таблица 4

Расхождения в количественной характеристике сортов руд при разрежении разведочной сети

Промышленные сорта руд	Относительные отклонения запасов руд при сети 6 × 6 от сетей						
	10 × 10	20 × 20	30 × 30	40 × 40	50 × 50	100 × 50	75 × 75
Богатые	+ 5,51	+ 7,63	+ 13,19	— 6,23	+ 3,51	— 4,33	— 21,87
Бедные	— 6,16	— 9,33	— 2,37	+ 8,57	— 1,86	+ 6,21	+ 0,35
Убогие	+ 4,63	— 2,69	— 14,66	— 7,42	— 0,16	— 22,14	— 100,00
Сумма	— 0,71	— 2,10	+ 2,86	+ 1,48	+ 0,40	— 0,14	— 84,79

Как следует из табл. 3, 4, погрешность установления качественной и количественной характеристик руд в целом и отдельных их сортов практически не зависит от густоты сети. При сгущении сети от стадии детальной к стадии эксплуатационной разведки (табл. 5) этот вывод подтверждается, как и наличие установленной выше систематической ошибки со знаком минус при определении содержаний железа и серы, а также запасов руд на стадиях детальной и эксплуатационной разведок.

Таким образом, для Сарбайского месторождения эксплуатационная разведка не вносит существенных изменений в данные детальной разведки.

При сопоставлении геолого-технологических разрезов на двадцати одной разведочной линии в пределах четырех эксплуатационных горизонтов карьера было отстроено по четыре варианта геолого-технологических разрезов по данным: а) детальной разведки; б) детальной и эксплуатационной разведок; в) эксплуатационного опробования (на

основании погоризонтных сортовых планов); г) суммированных данных детальной и эксплуатационной разведок и эксплуатационного опробования с учетом геолого-структурного картирования карьера.

Таблица 5

Изменение количественной и качественной характеристик сортов руд при сгущении разведочной сети

Промышленные сорта руд	Относительные отклонения данных эксплуатации от данных разведки, %					
	детальной			детальной + эксплуатационной		
	запасы	железо	сера	запасы	железо	сера
Богатые	— 25,0	+ 0,99	— 4,13	— 20,03	— 0,45	+ 0,41
Бедные	— 6,19	— 0,25	— 12,16	+ 15,22	— 3,35	— 2,70
Убогие	— 39,12	— 3,28	— 10,72	— 7,10	+ 3,36	— 5,49
Сумма	— 6,36	—	—	— 0,46	—	—
Среднее по горизонту	—	— 4,32	— 11,31	—	— 3,52	— 3,26

После отстройки разрезов по разведочным линиям на всех четырех вариантах подсчитаны средние содержания железа и серы, а также запасы руд в целом и раздельно по сортам (для двух горизонтов). Данные вариантов *а*, *б* и *г* сравнивались с данными эксплуатационного опробования, принятыми за эталонные (табл. 6).

При сравнении количественной характеристики руд в целом по двум горизонтам установлено, что наиболее близки к результатам эксплуатационного опробования данные, полученные по варианту *г*. Эксплуатационная разведка, по сравнению с детальной, не вносит существенных изменений в установление количественных соотношений сортов руд, за исключением убогих руд.

По средним содержаниям железа (табл. 6) для всех сортов руд и серы (за исключением убогих) относительные отклонения по всем вариантам близки и колеблются в допустимых пределах, что свидетельствует о высокой достоверности данных детальной разведки и подтверждает приведенный выше вывод относительно эксплуатационной разведки. Близость результатов варианта *г* к результатам, полученным по данным эксплуатационного опробования, указывает на возможность замены формальной методики интерпретации данных эксплуатационного опробования геологической интерпретацией — составлением геолого-технологических разрезов.

Для Сарбайского карьера данные геолого-технологических разрезов отклоняются от данных эксплуатационного опробования (сортовых планов) в бóльших пределах, чем на участке Соколовского карьера, так как угол падения рудной залежи там положе (45—50° против 70—80°). Это приводит к искажению границ между сортами руд в процессе усреднения содержаний на 10—20-метровую высоту уступа.

Сопоставление запасов руд по отдельным горизонтам отработки и в целом по Сарбайскому карьеру осуществлялось сравнением данных детальной и эксплуатационной разведок с данными по добыче руд за период эксплуатации месторождения. Сравнение по отдельным горизонтам (в том числе и не полностью отработанным) показало, что в среднем относительное отклонение среднего (средневзвешенного

Таблица 6

Расхождения в характеристике сортов руд по вариантам геолого-технологических разрезов

Промышленные сорта руд	Относительные отклонения данных эксплуатационного опробования от данных разведок, %		
	детальной	детальной + эксплуатационной	детальной + эксплуатационной + эксплуатации
	По запасам		
Богатые	+ 11,10	— 16,12	+ 12,31
Бедные	— 15,39	+ 11,41	— 1,83
Убогие	+96,51	+ 8,61	— 4,85
Среднее из сортов	—3,—59	— 0,14	+ 0,32
	По содержанию железа		
Богатые	+ 1,26	— 1,00	— 1,48
Бедные	+ 0,72	+ 2,43	+ 0,68
Убогие	— 1,12	+ 0,78	— 3,15
Среднее из сортов	+ 1 11	— 1,00	+ 0,65
	По содержанию серы		
Богатые	—6,38	+ 5,37	— 0,36
Бедные	— 5,56	— 8,88	— 3,60
Убогие	+ 23,99	+ 22,90	— 7,95
Среднее из сортов	— 8,11	— 7,27	— 4,21

на тоннаж добытых руд) содержания железа от установленного детальной разведкой равно — 3,97%, а от данных детальной и эксплуатационной разведок, взятых вместе, —1,96%. Таким образом, и в этом варианте сравнения эксплуатационная и детальная разведки занижают среднее содержание железа, хотя и незначительно. Во всем контуре отработанной части карьера числилось запасов руды по проекту отработки 59052 тыс. *т* при содержании железа 44,12%. Фактически же добыто с 1/I 1961 г. по 1/VII 1968 г. 63632 тыс. *т* руды при содержании железа 45,84%, т. е. по всей отработанной части карьера детальная разведка занизила среднее содержание железа на 3,97%, а запасы руды на 7,19% в относительном выражении. Размеры и знаки этих расхождений, как показано выше, существенно не меняются после эксплуатационной разведки.

Для установления достоверности прогнозирования запасов и качественной характеристики руд по геолого-технологическим разрезам и планам в качестве исходных материалов взяты: а) сортовой план горизонта 80—70 *м*, составленный рудничными геологами на основании формальной интерполяции, при этом границы между сортами руд проводили на половине расстояния между соседними скважинами, показавшими разносортные руды; б) прогнозный геолого-технологический план того же горизонта, составленный по геолого-технологическим разрезам, отстроенным по сумме данных детальной и эксплуатационной разведок и эксплуатационного опробования (вариант *г*) с учетом данных геолого-структурного картирования карьера.

Сопоставление осуществлялось в следующей последовательности: в целом по геолого-технологическому и сортовому планам; по блокам между двумя соседними разведочными линиями для северной, центральной и южной частей карьера; по блокам между разведочной и эксплуатационно-разведочной линиями для тех же участков; по элементарным блокам, размеры которых в плане: 40×20, 20×20, 10×20, 5×20 *м*. Размеры элементарных блоков обусловлены объемом руды, обеспечивающим добычу от суточной для четырех экскаваторов до сменной для одного экскаватора.

При подсчете запасов по планам площади сортов определяли планиметром. Средние содержания железа и серы по блокам подсчитывали среднеарифметическим способом по каждому сорту, а для блока в целом — взвешиванием на площади соответствующих сортов. Результаты сопоставления для центрального участка приведены в табл. 7 и 8.

Таблица 7

Сопоставление данных прогнозного геолого-технологического плана с данными сортового плана по крупным блокам

Промышленные сорта руд	Относительные отклонения, %		
	по запасам	по содержанию	
		железа	серы
В целом по контуру сопоставления			
Богатые	+ 9,91	— 1,04	— 5,33
Бедные	— 12,89	— 2,23	+ 2,09
Убогие	+ 14,50	+ 0,68	+ 7,82
Сумма	— 2,12	—	—
Для блока между двумя разведочными линиями			
Богатые	— 2,91	—1,93	—5,45
Бедные	— 2,86	+0,65	+3,96
Убогие	— 59,08	— 11,57	— 25,57
Сумма	— 1,01	—	—
Для блока между разведочной и эксплуатационно-разведочной линиями			
Богатые	+ 4,01	— 3,10	— 2,48
Бедные	— 11,00	+ 0,82	+ 4,51
Убогие	+ 394,36	— 10,73	— 25,57
Сумма	+ 0,004	—	—

Из результатов сопоставления данных прогнозного и сортового планов можно сделать следующие предварительные выводы.

1. По общим запасам руд и содержанию железа прогнозный геолого-технологический план дает приемлемую точность как по плану в целом, так и по блокам, вплоть до элементарного, обеспечивающего сменную добычу одного экскаватора.

2. Наибольшие погрешности в определении запасов отдельно по богатым и бедным рудам характерны для крупных блоков. При установлении средних содержаний железа и серы наибольшие отклонения отмечены для элементарных блоков, что объясняется уменьшением ко-

личества данных, участвующих в подсчете. Возрастание погрешности в определении запасов руд для крупных блоков и плана в целом обусловлено различием в интерпретации данных при отстройке отдельных участков геолого-технологического плана.

Таблица 8

Сопоставление данных прогнозного геолого-технологического плана с данными сортового плана по элементарным блокам

Блок	Площадь элементарного блока, $м^2$	Промышленные сорта руд	Относительные отклонения, %		
			по запасам	по содержанию	
				железа	серы
3	40 × 20	Бедные	+ 2,19	+ 7,98	— 16,96
	20 × 20		+ 0,81	+ 2,55	— 17,70
	10 × 20		— 0,53	— 2,63	— 17,70
	5 × 20		— 0,27	— 1,95	— 17,70
4	40 × 20	Богатые	— 0,50	— 0,82	+ 3,24
	20 × 20		— 1,02	— 1,51	— 0,36
	10 × 20		— 5,60	— 8,38	— 0,92
	5 × 20		— 0,26	— 0,26	—
5	40 × 20	Бедные	— 2,67	— 11,26	— 14,44
	20 × 20		— 3,97	— 14,80	— 21,84
	10 × 20		— 2,94	— 11,79	— 23,45
	5 × 20		— 2,68	— 10,72	—
6	40 × 20	Богатые	— 0,50	— 0,51	+ 0,35
	20 × 20		— 2,72	— 4,88	+ 13,73
	10 × 20		— 3,90	— 7,15	—
	5 × 20		— 4,83	— 9,27	—

3. Большие относительные отклонения в определении средних содержаний серы можно отнести за счет крайней недостаточности данных, так как пробы эксплуатационных скважин проанализированы на серу в среднем по сети 20×20 *м*.

С учетом сказанного выше об эксплуатационной разведке приведенные здесь результаты свидетельствуют о возможности надежного прогнозирования данных о количестве и качестве руд на нижележащие горизонты методом геолого-технологических разрезов и планов как в целом по горизонту, так и для отдельных блоков — вплоть до блоков, обеспечивающих суточное планирование добычи даже без проведения эксплуатационной разведки.

Выводы

1. Детальная разведка на участке Сарбайского карьера вполне достоверно оценивает основные геолого-промышленные параметры рудной залежи. Наиболее достоверно оцениваются форма рудной залежи, общие запасы руд и среднее содержание железа, менее достоверно — содержание серы и количество отдельных сортов руд, особенно убогих.

2. Эксплуатационная разведка незначительно уточняет данные детальной разведки, что позволяет существенно сократить ее объемы

(фактически они уже уменьшены в четыре раза против проектных), сохранив за ней задачу уточнения границ между сортами руд в наиболее сложных в структурном отношении участках и контуров безрудных пород внутри рудной залежи.

3. Детальная и эксплуатационная разведки систематически занижают запасы руд до 7%, содержание железа — до 4%.

4. В связи с относительно пологим падением рудной залежи, для уточнения пространственного положения и границ различных сортов руд целесообразно уменьшить длину интервалов опробования по эксплуатационным скважинам до 5 *м* (против 10—20 *м*). Эта задача успешно решается с помощью магнитного каротажа буровзрывных скважин.

5. Формальную методику интерпретации данных эксплуатационного опробования целесообразно заменить методикой, учитывающей структуру участка и внутреннее строение рудной залежи.

6. По геолого-технологическим разрезам и планам, даже с резко уменьшенными объемами эксплуатационной разведки, можно с достаточной точностью прогнозировать количество и качество руд как на больших площадях, так и на участках, обеспечивающих сменную добычу одного экскаватора. Внедрение и совершенствование этой методики позволит в дальнейшем повысить эффективность геологического обслуживания карьера.