Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. LVIII, вып. 1, 1969 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СЛОЖНОЙ ГИПСОМЕТРИИ РУДНОГО ТЕЛА НА ВЕЛИЧИНУ ПОТЕРЬ И РАЗУБОЖИВАНИЯ РУДЫ

А. И. Шаблыгин, В. Г. Елисеев

Разработка сложных месторождений ценных многосортных руд сопряжена с трудностью не только выбора системы разработки, но и установления взаимосвязи между основными параметрами систем и технико-экономическими показателями в различных горно-геологических условиях. Примером особой сложности разработки ценных многосортных руд может служить Талнахское медно-никелевое месторождение, представленное мощной пологопадающей залежью сплошных сульфидных и вкрапленных руд. Сложность разработки месторождения определяется тем, что наиболее богатые сплошные сульфидные руды, отрабатываемые в первую очередь камерно-столбовой системой, приурочены к донной части интрузии, нарушены тектоническими трещинами и имеют сложную гипсометрию контактов рудного тела в сочетании с крайне неустойчивыми породами непосредственной кровли. Мощность богатых руд в пределах месторождения непостоянна и изменяется от 1,0 до 45 *м*, вкрапленные руды достигают мощности 90 *м*.

В связи с тем, что первоочередной отработке подлежат только богатые руды, с целью сохранения подрабатываемых запасов вкрапленных руд для последующей разработки все пустоты, образованные выемкой богатых руд, заполняются бетонной закладкой.

Уровень потерь и разубоживания богатых руд при опережающей разработке во многом определяется сложностью гипсометрии почвы и кровли рудного тела и принятой технологией горно-проходческих работ. В условиях рассматриваемого месторождения выемку богатых руд в каждой камере начинают с проходки разрезных штреков, расположенных в почве рудного тела. Из-за изменчивости элементов залегания нижнего контакта рудного тела при проходке происходят неизбежные отклонения подошвы выработок от почвы рудного тела. Величины таких отклонений и их частоты непостоянны. Наиболее часты отклонения в пределах до 1,0 *м*. В качестве примера рассмотрим распределение отклонений подошвы панельного штрека № 3 от почвы рудного тела на участке длиной 172 *м* горизонта — 175 *м*. Статистические характеристики отклонений, взятых через 1 *м*, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Статистические характеристики отклонений подошвы панельного штрека № 3 от почвы рудного тела

Отклонения, *м*	Эмпирические		Теоретические	
	частоты	вероятности, %	вероятности, %	частоты
0—1	100	58	68	117
1—2	65	38	28	48
2—3	7	4	4	7

Сравнение эмпирического и теоретического распределений позволяет считать, что рассматриваемые отклонения подчиняются нормальному закону распределения. Некоторое расхождение эмпирических и теоретических частот объясняется тем, что во всяком статистическом ряду всегда присутствуют элементы случайности, нарушающие плавность рассматриваемой функции. Сглаживание влияния случайных отклонений может быть достигнуто только при увеличении числа наблюдений. На практике в каждой камере всегда приходится иметь дело с такими отклонениями, в статистическом распределении которых наиболее сильно проявляются черты случайности из-за различия интенсивности и амплитуды тектонических нарушений.

Для анализа и расчета допустимого теоретического уровня потерь и разубоживания руды, имеющих важное экономиче-

ское значение для каждого горнорудного предприятия, предлагается на контактах рудного тела выделять условную приконтактную зону, одна граница которой исключала бы разубоживание, а другая — потери руды. В зависимости от сложности контактов рудного тела и технологии очистных работ мощность приконтактной зоны, а следовательно, потери и разубоживание руды будут изменяться. Как видно из рис. 1, при последовательном перемещении подошвы разрезного штрека от верхней границы приконтактной зоны к нижней величина потерь

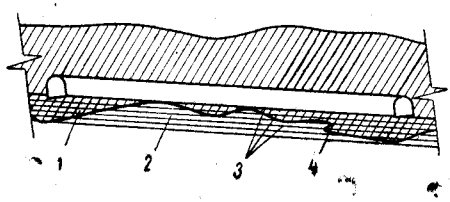


Рис. 1. Схема элементов приконтактной зоны в почве рудного тела:
1 — богатые руды; *2* — разубоживающие породы; *3* — последовательные расчетные положения почвы разрезного штрека; *4* — контур почвы богатых руд

богатых руд уменьшается, а разубоживание добытой руды увеличивается с одновременным увеличением количества товарной руды. Вместе с технико-экономическими показателями изменяется и вероятность контроля контакта рудного тела. Наиболее высока такая вероятность разведочных выработок, поэтому в зависимости от назначения выработок расчетную границу очистных работ можно установить по экономическим показателям или по необходимой вероятности контроля контакта рудного тела.

Мощность приконтактной зоны для определения теоретических показателей потерь и разубоживания руды при разработке сложных месторождений устанавливается по формуле

$$M = 6\sqrt{\sigma_к^2 + \sigma_с^2},\ м, \qquad (1)$$

где $\sigma_к$ — среднеквадратическое отклонение контакта рудного тела, *м*; $\sigma_с$ — среднеквадратическое отклонение направления шпура или скважины, *м*.

В связи с тем что отклонения шпуров, как правило, невелики и не превышают их диаметра, величиной $\sigma_с$ при шпуро-

вой отбойке можно пренебречь. Тогда мощность приконтактной зоны определится по формуле

$$M_0 = 6\sigma_к, \ м. \qquad (2)$$

В табл. 2 приведены мощности приконтактной зоны в почве рудного тела в нескольких отработанных очистных камерах. Наибольшего значения мощность приконтактной зоны достигла в камерах 9/1 и 25/2, где имеются значительные тектонические нарушения с амплитудой смещения до 6 *м*. Разрезные штреки в рассматриваемых камерах проходились мелкошпуровым способом и строго следовали за почвой рудного тела. Подвигание забоя за цикл составляло около 1,6—1,8 *м*. С увеличением длины прямолинейного участка проходки и при отбойке руды скважинами расчетная мощность приконтактной зоны, а также потери и разубоживание руды при прочих равных условиях увеличиваются.

Таблица 2

Изменение мощности приконтактной зоны по очистным камерам

Камеры	Сумма квадратов отклонений, $м^2$	Число измерений	Среднеквадратическое отклонение, *м*	Мощность приконтактной зоны *M*, *м*
6/1	12,35	12	1,01	6,0
7/1	5,71	12	0,69	4,2
8/1	14,96	14	1,04	6,2
9/1	24,56	17	1,20	7,2
10/1	4,23	17	0,50	3,0
11/1	3,99	22	0,42	2,5
7/2	0,13	17	0,03	0,20
9/2	1,49	23	0,25	1,50
11/2	3,24	24	0,37	2,20
13/2	3,03	26	0,34	2,00
15/2	1,21	25	0,22	1,30
17/2	2,76	28	0,31	1,90
21/2	8,07	34	0,50	3,00
23/2	3,39	28	0,35	2,10
25/2	33,40	25	1,15	7,00
Итого . .	122,5	324	0,60	3,6

Данные табл. 3 показывают, что в условиях рассматриваемого месторождения при мелкошпуровой отбойке и подвигании забоя около 2,0 *м* средняя мощность приконтактной зоны

составляет 3,6 *м*, а при отбойке скважинами длиной 16 *м* увеличивается до 12,6 *м*. Но в том случае, если контакт рудного тела выдержан, т. е. $\sigma_к = 0$, мощность приконтактной зоны определяется по формуле $M = 6\,\sigma_с$, и для условия отбойки руды скважинами длиной 16 *м* ее необходимо было бы принять равной 3,8 *м*.

Таблица 3

Изменение мощности приконтактной зоны в зависимости от длины прямолинейного участка

Длина прямолинейного участка, *м*	Среднеквадратическое отклонение, *м*			Мощность приконтактной зоны, *м**
	контакта рудного тела	направления шпура или скважины	общее	
1	0,25	0,04	0,254	1,5
2	0,60	0,08	0,605	3,6
4	1,15	0,16	1,16	7,0
8	1,32	0,32	1,36	8,2
16	2,00	0,64	2,10	12,6
32	2,58	1,28	2,90	17,4

* По формуле (1).

После установления мощности приконтактной зоны определяют допустимые теоретические показатели потерь руды и подрывки пород исходя из условия нормального закона распределения отклонений и принятой вероятности контроля контакта рудного тела. С этой целью составлена табл. 4, где величины потерь руды и подрывки пород даны в значениях среднеквадратического отклонения. Дополнительно к табл. 4 построен (рис. 2) график зависимости величины потерь руды и подрывки пород от мощности приконтактной зоны и вероятности контроля контакта рудного тела.

Сопоставление теоретических и фактических показателей подрывки пород в очистных камерах дано в табл. 5, согласно которой фактическая величина подрывки достигает в среднем 0,95 *м* при вероятности контроля контакта рудного тела 90%, а теоретическая при той же вероятности должна была составить 0,8 *м* (рис. 2), т. е. несколько меньше. Поскольку неотбитая руда в почве рудного тела в последующем взрывается, то фактическая вероятность контроля почвы рудного тела увеличивается. Для расчетов теоретических показа-

телей потерь и разубоживания руды необходимо принимать вероятность контроля контакта рудного тела около 98%, тогда величина подрывки пород почвы достигнет 1,2 *м*. При расчете допустимых показателей потерь и разубоживания руды для условий Талнахского месторождения учитывалась форма подошвы камер в зависимости от способа доставки руды.

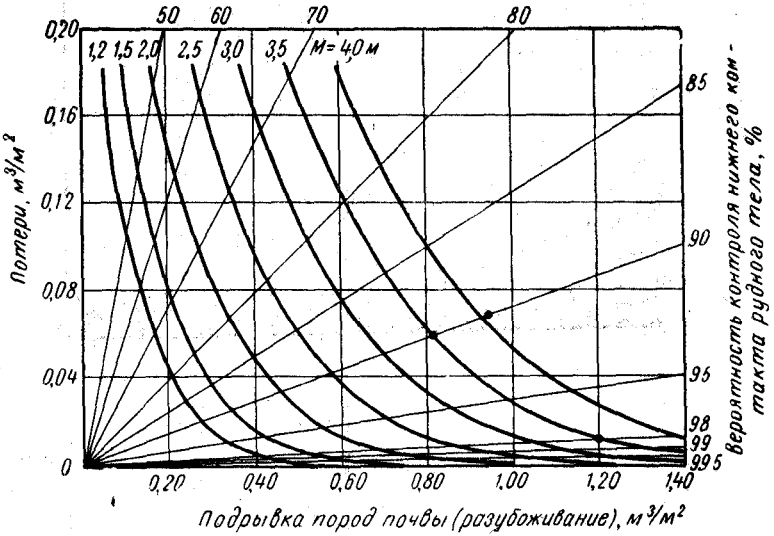


Рис. 2. Номограмма для определения величины потерь руды и подрывки пород в приконтактной зоне

Аналогично можно определять допустимую величину потерь руды и подрывки пород в кровле камер, однако в условиях Талнахского месторождения при неустойчивых породах непосредственной кровли применение данной методики затруднено в связи со значительными самообрушениями пород из кровли камер в ходе очистных работ. Примененный фотометрический метод съемки заключается в фотографировании следа обводки контура выработки штангой с двумя электрическими лампочками, расположенными на расстоянии 50 *см* друг от друга. Внешний контур характеризует профиль

кровли камеры, а внутренний необходим для определения масштаба съемки и расчетов площади свода.

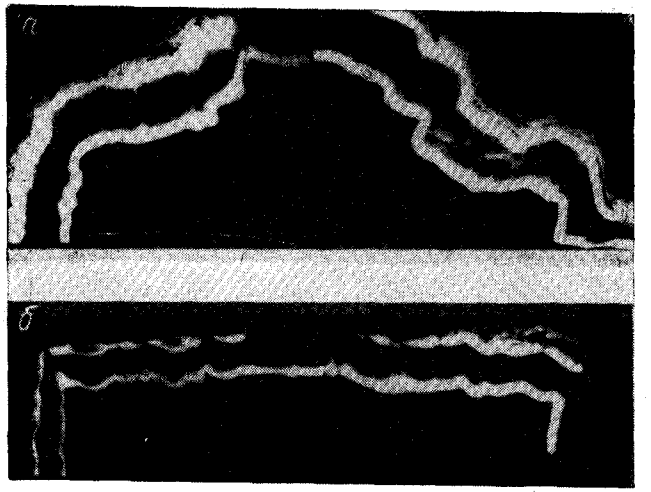


Рис. 3. Фотометрическая съемка кровли камеры $^3/_4$ до отбойки *б* и после отбойки *а* последнего рудного слоя

Таблица 4

Изменение потерь руды и подрывки пород в зависимости от вероятности контроля контакта рудного тела

Вероятность контроля контакта рудного тела, %	Потери руды, σ	Подрывка пород, σ	Добыча товарной руды, σ
0,1	3,0	0,001	0,001
20	1,04	0,20	2,16
50	0,50	0,50	3,00
60	0,40	0,65	3,25
70	0,30	0,83	3,53
80	0,20	1,04	3,84
90	0,10	1,39	4,28
95	0,05	1,69	4,64
98	0,02	2,08	5,05
99	0,01	2,34	5,33
99,9	0,001	3,00	6,00

Таблица 5

Величина подрывки пород почвы в очистных камерах в зависимости от вероятности контроля контакта рудного тела

Камеры	Мощность приконтактной зоны, *м*	Теоретическая подрывка пород почвы при $\beta = 0{,}98$, $м^3/м^2$	Фактическое отклонение подошвы камеры от почвы рудного тела, *м*	Фактическая вероятность контроля контакта рудного тела
6/1	6,0	2,10	0,70	0,90
7/1	4,2	1,50	1,45	1,00
8/1	6,2	2,20	2,30	1,00
9/1	7,2	2,50	2,00	0,85
10/1	3,0	1,05	0,80	0,85
11/1	2,5	0,90	0,40	0,70
7/2	0,2	0,10	0,80	1,00
9/2	1,5	0,50	0,60	0,90
11/2	2,2	0,80	0,50	0,90
13/2	2,0	0,70	0,60	0,90
15/2	1,3	0,46	0,40	0,85
17/2	1,9	0,65	0,50	0,75
21/2	3,0	1,05	1,20	1,00
23/2	2,1	0,74	1,00	0,70
25/2	7,0	2,40	2,30	1,00
По всем камерам . .	3,6	1,20	0,95	0,9

102911

Сравнивая полученные профили сечения камеры по богатым (*б*) и вкрапленным (*а*) рудам, можно видеть, что богатые руды вполне допускают ведение очистных работ камерами шириной 8 *м*, тогда как неустойчивые вкрапленные руды обрушаются и служат причиной высокого разубоживания богатых руд. Для уменьшения разубоживания богатой руды и повышения безопасности работ в очистных камерах на руднике нередко оставляют временную предохранительную рудную корку мощностью от 0,5 до 2,5 *м* или устанавливают железобетонные штанги.

В ходе опытных работ проводились исследования обрушений пород непосредственной кровли при ширине камер 4 и 8 *м*. В камерах шириной 4 *м* обрушения пород составляли в среднем около 1,0—1,2 *м*, в камерах шириной 8 *м* достигали 2,0—2,5 *м* с образованием свода высотой от 1/4 до 1/3 ширины камеры. При расчетах величины потерь и разубоживания принималась теоретическая площадь свода $S = (0{,}196;\ 0{,}260)B^2$, где B — ширина камеры.

Л Г И
Библиотека

Теоретические допустимые показатели разубоживания богатых руд при разработке Талнахского месторождения камерно-столбовой системой для рудного тела мощностью 10 *м* составили, %: при выемке камер 15, при выемке междукамерных целиков 21, в целом по системе 18. Потери богатых руд не должны превышать 2%.

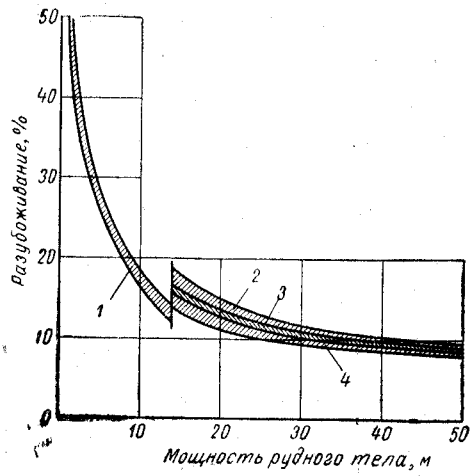


Рис. 4. Зависимость разубоживания богатых руд от мощности рудного тела

На рис. 4 показаны сводные графики предварительных расчетов допустимого разубоживания богатых руд для принятых вариантов систем разработки. В области *1* группируются показатели разубоживания руды при различных вариантах камерно-столбовой системы разработки; в области *2* — при системах разработки с отбойкой руды из подэтажных выработок без оставления рудной корки в кровле камер; в области *3* — при слоевой выемке руды и в области *4* — при системах с отбойкой руды из подэтажных выработок и временной рудной коркой в кровле камер. В настоящее время при отработке камерами рудных тел мощностью от 6 до 14 *м* фактическое разубоживание руды по прямому методу учета составляет 10—12%.

При оценке допустимого уровня потерь и разубоживания руды весьма важно установить предельное разубоживание,

при котором разработка богатых руд экономически еще целесообразна. В первую очередь это относится к выемке временной рудной корки в кровле камер. Предельное разубоживание руды зависит от ценности богатых руд и разубоживающих пород, мощности рудной корки, дополнительных издержек производства, необходимых для добычи и переработки руд. Чем выше содержание полезных компонентов, т. е. чем выше ценность руд и разубоживающих пород, тем выше допустимое разубоживание руды.

Допустимое (предельное) разубоживание руды устанавливается при равенстве извлекаемой ценности и издержек производства, т. е. при

$$\sum_{i=1}^{n} \vartheta_{ij} = \sum_{i=1}^{m} C_{ij}; \tag{3}$$

$$\sum_{i=1}^{n} \vartheta_{ij} = \sum_{i=1}^{n} \frac{a_{ij}\varepsilon_{ij}}{100\delta_i} Ц_i, \ руб/т; \tag{4}$$

$$\sum_{i=1}^{m} C_{ij} = C_{д\,j} + C_{т\,j} + C_{о\,j} + C_{м\,j}, \ руб/т, \tag{5}$$

где $\sum_{i=1}^{n} \vartheta_{ij}$ — ценность, извлекаемая из товарной руды, *руб/т*; a_{ij} — содержание каждого полезного компонента в товарной руде, %; ε_{ij} — извлечение каждого полезного компонента из руды при содержании a_{ij}, %; δ_i — содержание каждого полезного компонента в конечном продукте, %; $Ц_i$ — оптовая отпускная цена каждого полезного компонента, *руб/т*; $C_{д\,i}$ — себестоимость добычи руд, *руб/т*; $C_{т\,i}$ — себестоимость транспортировки руды, *руб/т*; $C_{о\,i}$ и $C_{м\,i}$ — себестоимость обогащения и извлечения металла из руды, *руб/т*.

В зависимости от перечисленных выше факторов это равенство наступает при разубоживании 70—80% и во многом зависит от ценности руд и разубоживающих пород. При известном предельном разубоживании минимальная промышленная мощность богатой руды определяется по формуле

$$m = \frac{(1-R)\gamma_{п}}{(1-R)\gamma_{п} + R\gamma_{р}}, \tag{6}$$

где R — коэффициент разубоживания; $\gamma_{п}$ и $\gamma_{р}$ — объемный вес соответственно разубоживающей массы и руды, $т/м^3$.

Расчетами по формуле (6) установлено, что в условиях Талнахского месторождения минимальная промышленная мощность богатых руд и рудной корки изменяется в пределах от 0,3 до 0,5 *м*.

Выводы

1. Теоретическая величина допустимого уровня потерь и разубоживания ценных руд при разработке сложных месторождений может устанавливаться исходя из мощности приконтактной зоны и степени контроля контакта рудного тела.

2. Средняя мощность приконтактной зоны в почве богатых руд, установленная в зависимости от сложности гипсометрии рудного тела и технологии очистных работ, составляет 3,6 *м*.

3. Разубоживание богатых руд Талнахского месторождения для принятых вариантов систем разработки без учета прослоев пустых пород не должно превышать 10—15%, а с учетом их достигнет 15—20%.

4. Минимальная промышленная мощность богатых руд и рудной корки, временно оставляемой в кровле камер, составляет 0,3—0,5 *м*.

5. Снижение разубоживания богатых руд может быть достигнуто за счет опережающей отработки породных прослоев, создания железобетонных перекрытий при выемке междукамерных целиков и применения шпуров уменьшенного диаметра при отбойке последнего рудного слоя в очистных камерах.