© А.А. Ершов, 2014

УДК 622.833

А.А. Ершов

ВЛИЯНИЕ ПОРЯДКА ОТРАБОТКИ СБЛИЖЕННЫХ РУДНЫХ ТЕЛ НА УСТОЙЧИВОСТЬ КАМЕР

Выявлены закономерности формирования напряженного состояния руд и вмещающих пород в зоне ведения очистных работ на Агинском месторождении на основе математического моделирования. В расчетах использовалась модель однородной изотропной линейно-упругой среды. Рассмотрен вариант разделения рудной залежи на участки целиками, либо применение систем с обрушением и переход на полевую подготовку, или закладку выработанного пространства для предотвращения неуправляемого обрушения вмещающих пород, приводящего к сверхпроектному разубоживанию руды и неожиданному разрушению выработок. Приведены результаты моделирования распределения напряжений в горизонтальном сечении, когда залежь в висячем боку полностью отработана, а в лежачем боку работы только начинаются, представлены на рис. 4 и 5. Моделирование проводилось с целью изучения взаимного влияния сближенных рудных тел при их одновременной отработке.

Ключевые слова: сближенные рудные тела, рудная залежь, напряженное состояния руд, целики, охраняемые выработки.

При разработке Агинского месторождения, рудник столкнулся с потерей устойчивости выработок, геомеханическая ситуация на месторождении связана не только с низкой устойчивостью вмещающих пород, но и с перераспределением первоначальных напряжений в конструктивных элементах системы разработки.

Основной и главной проблемой на данном месторождениии является, обеспечение устойчивости конструктивных элементов.

Рудное поле Агинского месторождения протяженностью до 2 км и шириной до 250 м включает в себя ряд рудных тел. Физическое состояние руды на различных участках самое разнообразное, преимущественно слобоустойчивое. Текстуры руды – массивные, брекчиевые, выделяется полосчатость. Коэффициент крепости по шкале М.М. Протодъяконова 8–12. Руды не слеживаются и не склонны к самовозгоранию. Объемный вес в среднем составляет 2,48 т/м^3. Естественная влажность руд колеблется от 2,4 до 7,8%. Коэффициент разрыхления составляет 1,78. Промышленная мощность рудного тела изменяется от 0,8 до 6,1 м. Содержание свободного диоксида кремния в руде 60%.

Рудные тела в основном крутопадающие, со средним углом падения 56°. В плане и на разрезах можно выделить следующие формы залегания рудных тел:

- обособленные рудные тела;
- субпараллельные сближенные рудные тела;
- рудные тела, сочленяющиеся в виде «ласточкиного хвоста» в плане и на вертикальных разрезах.

Вмещающие породы рудной зоны представлены андезито-базальтами, андезитами и их туфами, метасоматитами по андезитам и андезито-базальтами. Породы весьма морозостойкие и водостойкие. Объемный вес составляет 2,6 т/м^3. Породы монолитные,

трещиноватые. По контактам с рудной зоной отмечаются зеркала скольжения от неустойчивых до среднеустойчивых. Коэффициент крепости по шкале М.М. Протодьяконова андезитов, андезитобазальтов и базальтов составляет 8–12, метасоматитов – 5–8.

На Агинском месторождении не проводилось натурных измерений действующих в массиве напряжений. Поэтому первоначальное напряженное состояние массива горных пород было принято по аналогии с сейсмоактивными горными районами СНГ для вмещающих пород с модулями упругости E = (3–6)·104 МПа и прочностью на сжатие $[\sigma_{сж}]$ = 50 – 100 МПа [1]. В соответствии с приведенными данными вертикальные напряжения равны весу налегающей толщи:

$\sigma_z^п = \gamma H$, где γ = 0,026 МН/м^3

Горизонтальные напряжения в соответствии с [1] различаются по направлениям:

– по простиранию:

$\sigma_y^п = 0{,}42\ \gamma H + 7$ МПа;

– вкрест простирания:

$\sigma_x^п = 0{,}42\ \gamma H + 5$ МПа.

Поскольку рудник находится в гористой местности, где хребты окаймлены долинами, то массив сопки будет частично экранироваться от первоначальных напряжений. Однако напряжения по простиранию экранируются долинами, имеющими отметку ниже гор. 1100 м. Вкрест же простирания напряжения на участках ведения горных работ практически не экранируются, поскольку долины имеют отметки более 1300 м. Поэтому при решении геомеханических задач были приняты следующие величины горизонтальных напряжений:

– по простиранию:

$\sigma_y^п = 0{,}42\ \gamma H + 5$ МПа;

– вкрест простирания:

$\sigma_x^п = 0{,}42\ \gamma H + 5$ МПа.

Геомеханическая ситуация на месторождении связана не только с низкой устойчивостью вмещающих пород, но и с перераспределением первоначальных напряжений в конструктивных элементах системы разработки. Выявление закономерностей формирования напряженного состояния руд и вмещающих пород в зоне ведения очистных работ на Агинском месторождении производилось на основе математического моделирования. В расчетах использовалась модель однородной изотропной линейно-упругой среды.

Результаты моделирования позволяют утверждать, что сплошная бесцеликовая отработка рассматриваемой группы рудных тел неизбежно приведет к обрушению вмещающих пород, поскольку в верхней части выработанного пространства по лежачему боку апофизы «Ноябрьская», а также в нижней части выработанного пространства по висячему боку рудного тела «Сюрприз» развиваются достаточно большие растягивающие напряжения. Таким образом, для предотвращения неуправляемого обрушения вмещающих пород, приводящего к сверхпроектному разубоживанию руды и неожиданному разрушению выработок необходимо предусмотреть разделение рудной залежи на участки целиками, либо применение систем с обрушением и переход на полевую подготовку, или закладку выработанного пространства.

Моделирование разделения выработанного пространства рудным целиком на гор. 1210 м на две части показало, что такая мера не дает возможности предотвратить неуправляемое обрушение вмещающих пород: в целике треугольной формы формируется зона высоких растягивающих напряжения в лежачем боку апофизы «Ноябрьская» (величина напряжений достигает 1,6 МПа), что приведет к

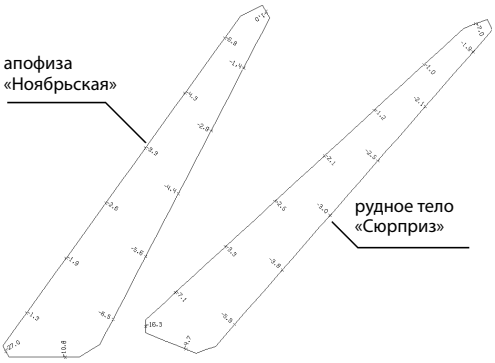

Рис. 1. Распределение напряжений при одновременной отработке сближенных рудных тел с оставлением между ними целика толщиной 2 м

разрушению целика и увеличению разубоживание руды в выемочном блоке.

После отрыва и падения вниз треугольного участка массива пород горизонтальная площадь обнажения возрастает, что приведет к дальнейшему обрушению пород под действием собственного веса и горизонтального сжатия.

Для оценки возможности предотвращения неконтролируемого обрушения пород в верхней части выработанного пространства было проведено моделирование влияния целика толщиной 2 м, оставляемого между рудными телами на гор. 1260 м (рис. 1).

Из приведенных результатов становится очевидным, что оставляемый разделительный целик исключает возможность самопроизвольного обрушения пород при одновременной отработке двух сближенных рудных тел: растягивающие напряжения на контуре отсутствуют, а сжимающие не превышают прочности даже слабых пород.

Эти выводы основаны на анализе распределения статических напряжений. Динамические напряжения от буровзрывных работ снижают несущую способность массива пород. Размер целика между камерами должен быть увеличен на два радиуса разрушения пород вокруг скважины $R_к$.

Величина $R_к$ зависит [1] от радиуса заряда (скважины) R_0 и вида применяемой взрывчатки (ВВ). В соответствии с [2] для гранулотола $R_к$= (32÷43) R_0, а для граммонита $R_к$= (28÷36) R_0.

В условиях Агинского месторождения при отбойке руды скважинами диаметром 100 мм ширина целика должна быть увеличена на 86R_0, т.е. 4,3 м. Минимальный размер целика по горизонтали, при котором можно безопасно вести одновременную отработку сближенных рудных тел должен быть 6÷6,5 м.

Дальнейшая отработка зависит от мощности породного пропластка между жилами: если она менее 6 м, то первым должно выниматься верхнее рудное тело. То же самое относится и к участку сочленения жил (рис. 2): нижнее рудное тело, залегающее в лежачем боку должно отрабатываться последним. Рудный целик в месте сочленения рудных тел может отрабатываться лишь в том случае, если на верхних горизонтах отсутствуют охраняемые выработки.

На участках параллельно сближенных рудных тел условия выемки запасов такие же: при малой мощности породного пропластка отработка рудных тел должна вестись поочередно, либо валовым способом (с выемкой пустой породы). При превышении

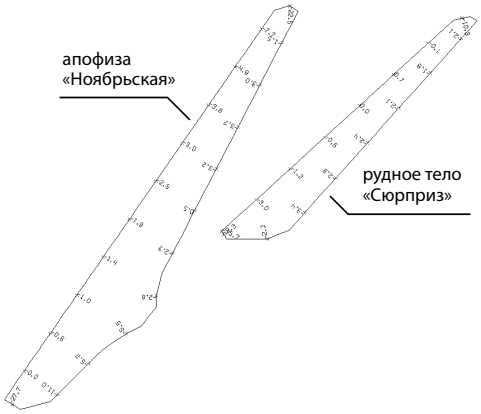

Рис. 2. Опережающая отработка жилы, имеющей наиболее крутое падение

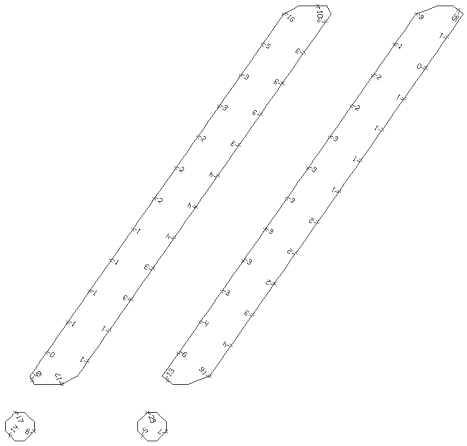

Рис. 3. Распределение напряжений во вмещающих породах при выемке сближенных рудных тел на гор. 1210 м

мощности породного пропластка более 6 м возможна одновременная отработка рудных тел (рис. 3).

Моделирование распределения напряжений в горизонтальном сечении проводилось с целью изучения взаимного влияния сближенных рудных тел при их одновременной отработке. Результаты моделирования предусматривали ситуацию, когда залежь в висячем боку полностью отработана, а в лежачем боку работы только начинаются, представлены на рис. 4 и 5. При этом моделировались два рудных тела мощностью по 5 м, разделенных в самом узком месте пропластком мощность 5 м. Приведенные результаты позволяют утверждать, что принципиального различия между направлением отработки (удаляясь или приближаясь к камере в висячем боку) не существует, поскольку напряжения на торцах камер и в их висячем боку идентичны.

Отмечается лишь разница в величине напряжений, формирующихся в стенке отработанной камеры: под воздействием опорного давления и движущегося торца «малой» камеры в боку «большой» камеры появляются растягивающие напряжения: при удалении от «большой» камеры они достигают 2 МПа, а при приближении к ней – 2,8 МПа. В обоих случаях формирование растягивающих напряжений создает условия образования трещин разрыва в стенке «большой» камеры.

Размер зоны взаимного влияния зависит от многих факторов: коэффициента запаса прочности целиков по статическим напряжениям, величины одновременно взрываемого заряда ВВ, вынимаемой мощности залежи. Достаточно обоснованных способов оценки размеров зоны взаимного влияния камер не существует. Для определения минимального расстояния между сближенными рудными телами, при котором порядок их отработки не имеет значения, можно воспользоваться опытом, накопленным другими предприятиями. На руднике Гайского ГОКа влияние взрывных работ не сказывается при расстоянии между камерами, равном 40 м, – удвоенному пролету одиночной камеры. Мощность пропластка, при котором порядком отработки камер (жил) можно пренебречь, должна быть в 4 раза

Рис. 4. Распределения напряжений при отработке сближенных рудных тел в расходящемся порядке

Рис. 5. Распределения напряжений при отработке сближенных рудных тел в сходящемся порядке

больше радиуса разрушения взрываемой скважины.

Выводы

1. Сближенные рудные тела могут отрабатываться независимо, если расстояние между ними составляет не менее 15–20 м.

2. При мощности пропластка от 15–20 м до 6 м допускается одновременная отработка рудных тел. При этом фронты работ в смежных камерах должны иметь минимальное отставание (1 – 2 веера скважин).

3. При маломощных пропластках (менее 6 м) должна вестись раздельная выемка рудных тел, при этом первым должна отрабатываться жила, имеющая наиболее крутое падение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Айтматов И.Т.* Напряженное состояние горных пород верхней части земной коры в условиях разных типов тектонических структур // Проблемы геотехнологии и недроведения. Сб. докл. Междунар. конф. 6–10 июля 1998 г. Екатеринбург: УрО РАН, 1998. С. 6–16.

2. *Фадеев А.Б.* Дробление и сейсмическое действие взрывов на карьерах. – М.: Недра, 1972. – 135 с.

3. *Зубков А.В.* Геомеханика и геотехнология. – Екатеринбург: УрО РАН, 2001. – 335 с.

4. *Ким Д.Н.* Влияние структуры на сдвиговую прочность массива и определение расчетных механических характеристик // Горное давление, сдвижение горных пород и методика маркшейдерских работ: Сб. науч. тр. / ВНИМИ. – Л., 1969. Вып. 72 – С. 568–585. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Ершов А.А. – Институт горного дела УрО РАН, e-mail: direct@igduran.ru.

UDC 622.833

INFLUENCE OF MINING SEQUENCE ON STABILITY OF STOPES IN CONTIGUOUS ORE BODIES

Ershov A.A., Mining Institute of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, e-mail: direct@igduran.ru.

The author has revealed the mechanism of stress state of ore and host rock mass in the vicinity of stoping operations in Aginskoe Mine using the mathematical model of an isotropic, linearly elastic medium. The article surveys scenarios of ore body splitting into blocks using pillars, or application of mining systems with caving and in-stone development, or mining with backfilling, aimed at prevention of sudden caving of host rocks and subsequent extra dilution of ore and failure of mine roadways.

The plan views of the modeled stress distribution for the mining situation when hanging wall is totally extracted and footwall operation is recently started are shown in Figs. 4 and 5. The objective of the modeling was the mutual influence of the contiguous ore bodies under concurrent mining.

Key words: *contiguous ore bodies, ore deposit, stress state of ore, pillars, supported mine roadways.*

REFERENCES

1. Ajtmatov I.T. Naprjazhennoe sostojanie gornyh porod verhnej chasti zemnoj kory v uslovijah raznyh tipov tektonicheskih struktur // Problemy geotehnologii i nedrovedenija. Sb. dokl. Mezhdunar. konf. 6–10 ijulja 1998 g. Ekaterinburg: UrO RAN, 1998. S. 6–16.

2. Fadeev A.B. Shattering and Seismic Effect of Blasting in Open Pits. Moscow: Nedra, 1972. 135 p.

3. Zubkov A.V. Geomechanics and Geotechnology, Ekaterinburg: UrO RAN, 2001, 335 p.

4. Kim D.N. Vlijanie struktury na sdvigovuju prochnost' massiva i opredelenie raschetnyh mehanicheskih harakteristik //Gornoe davlenie, sdvizhenie gornyh porod i metodika markshejderskih rabot: Sb. nauch. tr. / VNIMI. – L., 1969. Vyp. 72 – S. 568–585.