

**А.Г.ПРОТОСЕНЯ**, д-р техн. наук, профессор, kaf-sgp@mail.ru

**Д.Ю.ДОРДЖИЕВ**, аспирант, dimich\_tpr-03@mail.ru

*Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)*

**A.G.PROTOSENYA**, Dr. in eng. sc., professor, kaf-sgp@mail.ru

**D.Yu.DORDZHIEV**, post-graduate student, dimich\_tpr-03@mail.ru

*Saint Petersburg State Mining Institute (Technical University)*

## **ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБА ПРИВЕДЕНИЯ ЦЕЛИКА В НЕУДАРООПАСНОЕ СОСТОЯНИЕ В ТЕКТОНИЧЕСКИ-НАРУШЕННОМ РУДНОМ МАССИВЕ**

На основе моделирования методом конечных элементов исследованы особенности формирования напряженно-деформированного состояния в межполуобломочном целике при отработке рудного тела нисходящими горизонтальными слоями с закладкой выработанного пространства. Полученные закономерности перераспределения напряжений в межполуобломочном целике и окружающем массиве горных пород позволили обосновать эффективный способ снижения удароопасности при ведении горных работ.

**Ключевые слова:** напряжения, моделирование, тектоника, удароопасность, массив, уран.

## **SUBSTANTIATION OF WAY UNLOADING PILLAR IN TECTONICALLY FRACTURED MASSIF**

Simulation-based finite element method of forming the features of the stress-strain state in pillar at the ore body downstream horizontal layers with a mined-out space. The obtained regularities of redistribution of stresses in pillar and surrounding rock massif are allowed to substantiate an effective way to reduce the bump hazard in mining operations.

**Key words:** stress, simulation, tectonics, bump hazard, massif, uranium.

С понижением глубины ведения горных работ при отработке рудных месторождений в сложных горно-тектонических условиях одной из актуальных задач является разработка новых эффективных противоударных мероприятий.

Урановое месторождение «Антей» относится к удароопасным. Месторождение находится на территории Восточного Забайкалья. Рудные залежи образовались в результате мощной гидротермальной проработки тектонических нарушений различной ориентации. Оно характеризуется широким развитием разрывных нарушений. Наиболее крупные швы тектонических зон пересекают всю толщу осадочно-вулканических пород и уходят в гранит фундамента, другие ограничиваются

зоной контактовых срывов на границе структурных этажей, третьи проявлены исключительно в пределах определенной толщи.

Фрагмент геологического разреза по разведочной линии 630 + 25 представлен на рис.1, а. Разлом 13 северо-восточного простирания. Наиболее крупным в пределах месторождения по падению разлом вскрыт до глубины 1,5 м и далее не оконтурен. В породах верхнего этажа разлом имеет пологое (55-70°) С-З падение, в гранитах падение изменяется до вертикального.

Разлом 160 параллельный разлому 13 является рудовмещающим структурным элементом месторождения. Разлом имеет близвертикальное падение, наиболее четко выражен в гранитах и базальных конгло-

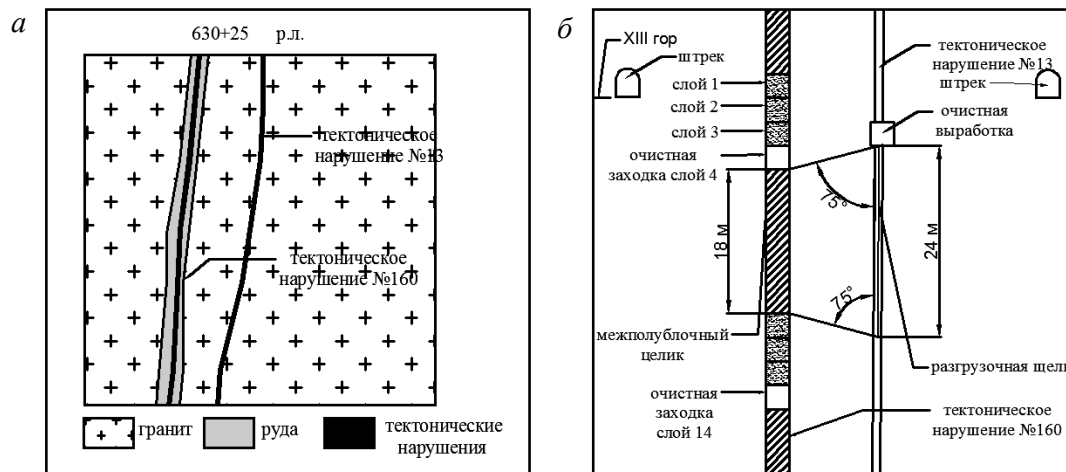


Рис. 1. Фрагмент геологического разреза месторождения «Антей» по разведочной линии 630+25 и схема обоснования длины разгрузочной щели: а – геологический разрез; б – схема разгрузки целика

мератах, проявляясь в породах верхнего этажа в виде зоны трещиноватости.

Гранитный фундамент дифференцирован на три разновидности гранитов: мелко- и среднезернистые лейкократовые граниты, биотитовые граниты и метасоматические порфировые граниты (гранитогайсы). Все разновидности гранитов являются рудовмещающими, имеют нечеткие границы, полный набор их разновидностей повсеместно не выдерживается. Форма гранитных тел жильная, реже линзообразная. Мощность тел не превышает первых десятков метров, размеры по простиранию – первых сотен метров.

В гранитах фундамента действуют тектонические горизонтальные сжимающие напряжения, наибольшая величина из которых в 2-3 раза превышает гравитационную составляющую от веса налегающей толщи пород. Они указывают на наличие тектонических сил, действующих в массиве\*.

Основная система разработки на месторождении – горизонтальные слои с твердеющей закладкой в нисходящем порядке отработки. Высота этажа между горизонтами 60 м. Этаж делится на два полублока по 30 м, отрабатываемых одновременно по простиранию рудного тела.

\* Поляков А.Н. Прогноз удароопасности горнотехнических ситуаций на перспективные глубины разработки // Горный журнал. 1993. № 4. С. 51-56.

Polyakov A.N. Forecast bump hazard management of mining the promising mining depth // Mining journal. 1993. № 4. P.51-56.

Служба прогнозов горных ударов рудника «Глубокий» отметила, что количество случаев проявления динамических явлений резко возросло в период 2002-2008 гг. и небольшую часть, где были зафиксированы места проявления динамических явлений, занимают рудные целики.

В качестве эффективного способа предотвращения динамических явлений может быть предложено создание разгрузочной щели в тектоническом нарушении № 13.

Для снижения удароопасности межпоблочного целика предлагается проведение очистной выработки (заходки) с геометрическими размерами 3×3 м в тектоническом нарушении № 13 на уровне 3 слоя в основном рудовмещающем нарушении № 160 и проведение нисходящей разгрузочной щели длиной 24 м и диаметром 105 мм. Длину разгрузочной щели принимали 24 м (рис.1, б), строили прямые под углом 135° от краевых частей целика в сторону тектонического нарушения № 13, для того чтобы целик попал в разгруженную зону после проведения разгрузочной щели.

При решении задачи использовалось моделирование методом конечных элементов. Моделировалась поэтапная отработка одного этажа для условий XIII горизонта (750 м от поверхности) с параллельной отработкой двух полублоков в нисходящем порядке до 4 слоя, так как напряжения в межпоблочном целике достигают значений близких к пределу прочности и составляют

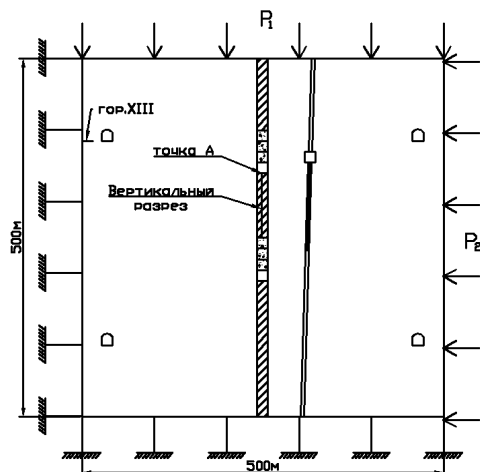


Рис.2. Расчетная схема

100 МПа, поэтому необходимо применение мероприятий по приведению его в неудароопасное состояние.

Модель представляет собой участок тектонически-нарушенного массива размером 500×500 м (рис.2). Размеры подбирались из незначительности влияния граничных условий на картину распределения напряжений. Гранитный массив моделировался линейно-деформируемой средой с модулем упругости  $E_1 = 70 \cdot 10^3$  МПа и коэффициентом Пуассона  $\mu_1 = 0,21$ , модуль упругости основного рудовмещающего нарушения  $E_2 = 35 \cdot 10^3$  МПа и  $\mu_2 = 0,2$ , а модуль упругости тектонического нарушения № 13  $E_3 = 10 \cdot 10^3$  МПа и  $\mu_3 = 0,3$ . Также учитывался закладочный массив с модулем деформации  $E_4 = 7 \cdot 10^3$  МПа и  $\mu_4 = 0,3$ . Угол падения основного рудного тела принят  $90^\circ$ , тектонического нарушения –  $80^\circ$ , а мощность их – 3 м и 1 м соответственно. Расстояние между тектоническими нарушениями 10 м. Расчет велся на собственный вес с учетом давления вышележащих пород, равного  $P_1 = \gamma H = 13,3$  МПа, а боковая нагрузка  $P_2 = 3\gamma H = 39,3$  МПа.

Граничные условия задавались следующим образом: боковой грани запрещались перемещения по оси  $Y$ , нижней грани – по оси  $X$ .

Модель разбивалась на элементы, размер которых в районе выработок и целика составлял 0,3 м, а по мере удаления увеличивался на границах модели до 3 м.

Закономерности изменения горизонтальных напряжений по вертикальному разрезу в

середине межполублочного целика до разгрузки приведены на рис.3, из анализа которых следует, что максимальные значения их достигают 80-90 МПа на контуре почвы очистной выработки(заходки) после отработки слоя № 4. При удалении от выработки горизонтальные напряжения снижаются до 50 МПа, а ближе к границе контакта межполублочного целика с закладочным массивом наблюдается скачок напряжений до 70-80 МПа.

После проведения мероприятий по разгрузке целика, концентрация горизонтальных напряжений в среднем снижается на 50 % по всей линии разреза.

На рис.4 представлены закономерности изменения горизонтальных и вертикальных напряжений в точке А в зависимости от стадии разработки блока. До стадии отработки 4

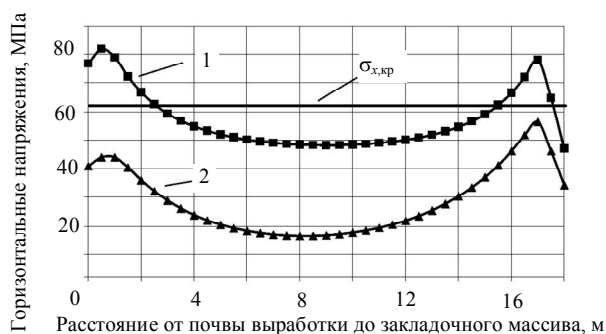


Рис.3. Закономерности изменения горизонтальных напряжений по вертикальному разрезу в середине межполублочного целика  
1 – до разгрузки; 2 – после загрузки

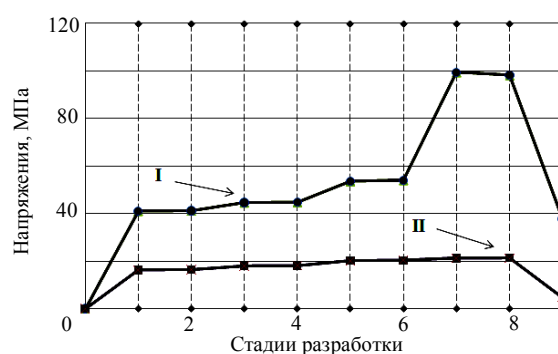


Рис.4. Закономерности изменения горизонтальных и вертикальных напряжений в точке А на контуре почвы очистной выработки 4-го слоя в зависимости от стадии разработки блока: I – горизонтальных, II – вертикальных

Стадии разработки: 1 – проходка выработки 1-го слоя, 2 – закладка выработки 1-го слоя, 3 – проходка выработки 2-го слоя, 4 – закладка выработки 2-го слоя, 5 – проходка выработки 3-го слоя, 6 – закладка выработки 3-го слоя, 7 – проходка выработки 4-го слоя, 8 – проходка выработки в тектоническом нарушении № 13, 9 – бурение разгрузочной щели

слоя распределение горизонтальных и вертикальных напряжений особо не меняется. После проходки 4 слоя наблюдается увеличение горизонтальных напряжений, в то время как увеличение вертикальных не так явно видно. А после проведения разгрузки можно наблюдать снижение горизонтальных и вертикальных напряжений на 50 %.

Для оценки эффективности мероприятий по приведению в неудароопасное состояние целика определены\* величины допустимых горизонтальных напряжений  $\sigma_{х,кр}$  в рудопородных (несущих) элементах, которые определяется по формуле  $\sigma_{х,кр} = k_{\phi} \sigma_{сж} k_{стр} / k_3$ , где  $k_3$  – коэффициент запаса ( $k_3 = 1,56$  при  $H \geq 400$  м);  $\sigma_{сж}$  – предел прочности руды на одноосное сжатие, МПа;  $k_{стр}$  – коэффициент структурного ослабления;  $k_{\phi}$  – коэффициент,

учитывающий изменение прочности руды в целике в зависимости от формы целика определяется:  $k_{\phi} = \sqrt{L_{ц} / m_3}$  ( $L_{ц}$  – высота целика, м;  $m_3$  – средняя нормальная мощность залежи в месте расположения целика, м).

Полученное значение величины допустимых горизонтальных напряжений  $\sigma_{х,кр} = 62,8$  МПа показывает, что проведение разгрузочной щели в тектоническом нарушении № 13 разгружает межполублочный целик. Преимуществом предлагаемого способа разгрузки является сохранение данного целика, а при применении на месторождении способе разгрузки, производится бурение щели непосредственно в целик, что приводит к созданию дополнительной трещиноватости и раздробленности рудного массива.

---

\* Расчетные методы в механике горных ударов и выбросов: Справочное пособие / И.М.Петухов, А.М.Линьков, В.С.Сидоров и др. / М.: Недра, 1992. 256 с.

Computational methods in mechanics of rock bursts and releases: Handbook / I.M.Petukhov, A.M.Linkov, V.S.Sidorov et al. Moscow: Nedra, 1992. 256 p.