

УДК 622.831

**В.Д. Барышников, Л.Н. Гахова, Н.П. Крамсков**

**ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ УСЛОВИЙ  
ОТРАБОТКИ ПОДКАРЬЕРНЫХ ЗАПАСОВ РУДНИКА  
«АЙХАЛ» СЛОЕВОЙ СИСТЕМОЙ С ТВЕРДЕЮЩЕЙ  
ЗАКЛАДКОЙ\***

*Выполнен анализ напряженно-деформированного состояния рудной потолочины, сформированной после отработки разрезного слоя, при подземной выемке запасов ниже дна карьера на руднике «Айхал». Обосновано оптимальное размещение нарезных выработок и порядок выемки запасов в слое при восходящей камерно-целиковой системе разработки.*

*Ключевые слова: рудное тело, подкарьерные запасы, твердеющая закладка.*

**К**имберлитовая трубка «Айхал» АК «АЛРОСА» расположена в районе многолетнемерзлых пород, мощность которых составляет 400 — 450 м. Вмещающие породы представлены глинисто-карбонатными отложениями с прослоями мергелей. Залегание слоев — субгоризонтальное. Рудное тело субвертикального падения, разведанное до глубины 900 м (а.о. — 400 м), локализуется в продольно-осевой зоне трещин отрыва северо-восточного простирания и имеет эллипсовидную форму с соотношением осей  $\approx 1:7$ . На глубине ниже 120 м от поверхности рудное тело разделяется на две части: юго-западное рудное тело (ЮЗРТ) и северо-восточное рудное тело (СВРТ). Верхняя часть месторождения отработана карьером до максимальной глубины 325 м. Отметка дна карьера СВРТ — +205 м, а зумпфа — +195 м (рис. 1).

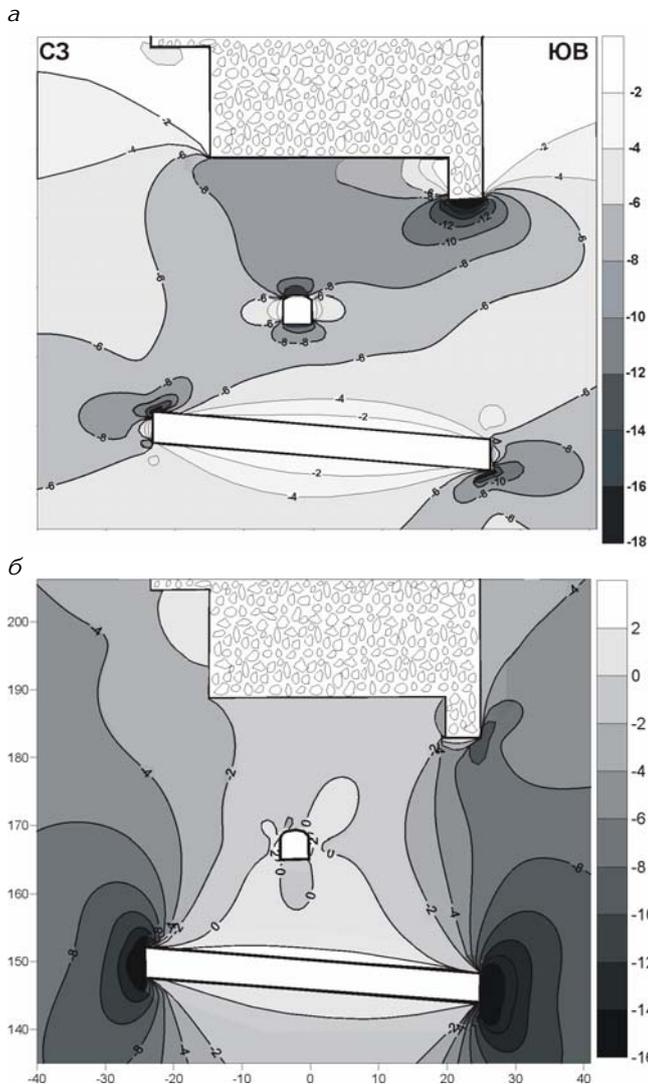
После завершения открытых работ приступили к подземной отработке

законтурных запасов в северо-восточном борту карьера с использованием карьерного пространства для размещения вскрывающих выработок и транспортировки руды. Прибортовой рудный массив в отм. +330 м ч +192 м отработан с применением систем подэтажного обрушения.

В соответствии с проектными решениями часть подкарьерных запасов СВРТ до отм.+150 м предлагалось отработать системой подэтажного обрушения с торцевым выпуском руды под обрушенными породами с последующим переходом на слоевую разработку с твердеющей закладкой. Однако при подготовке запасов в центральной части СВРТ (после принятия мер по осушению обводненных осыпей на дне карьера) произошел прорыв илов в горные выработки на отм.+192 м. Поэтому дальнейшую отработку подкарьерных запасов по условиям безопасности решено производить с применением слоевой камерно-целиковой системы разработки и твердеющей закладки.

\* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранта 08-08-00113) и АК «АЛРОСА».





**Рис. 2. Горизонтальные (а) и вертикальные (б) напряжения (МПа) в подкарьерном массиве после отработки слоя N3**

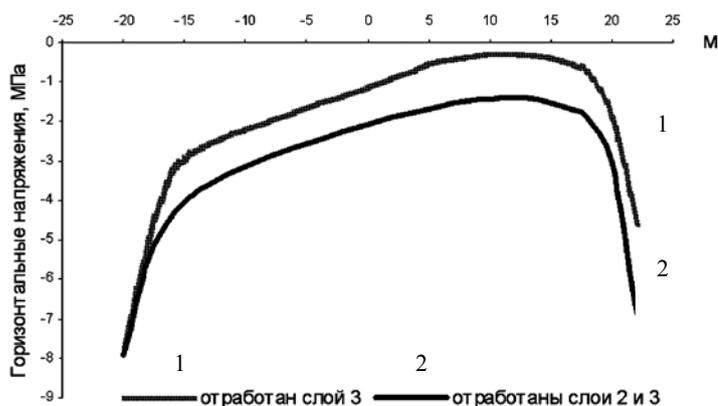
Защита горных выработок от прорыва обводненных илов на дне карьера и водопритоков, вызванных атмосферными осадками в весенне-летний период, предусматривается путем оставления рудной потолочины, проектная мощность которой составляет 25 м. Ведение закладочных работ отработанного пространства осуществ-

ляется через вентиляционно-закладочный штрек (ВЗШ), пройденный в рудном массиве в отм.+163 ÷ +175 м. Размер предохранительного целика над ним принят 8,5 м.

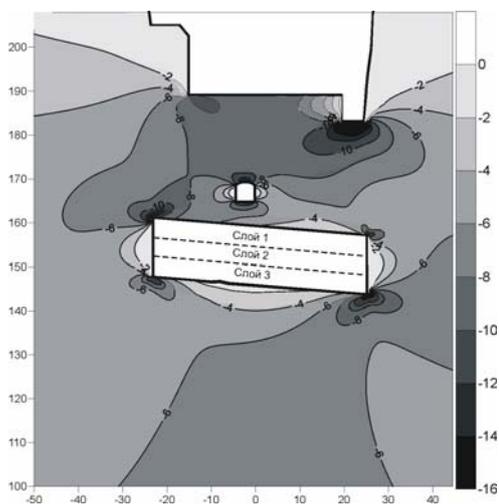
С целью снижения риска затопления горных выработок от прорыва обводненных илов со дна карьера очистные работы под дном карьера начаты с отработки слоя N3. После выемки разрезного слоя сформирована рудная потолочина толщиной 35 м. Для своевременного принятия мер по обеспечению безопасных условий отработки, ведение очистных работ сопровождается обязательным контролем гидрогеомеханического состояния рудной потолочины. В случае благоприятной ситуации планируется последовательно в восходящем порядке отработать слой N2 и N1 (см. рис.1). При этом контур кровли слоя N1 совпадает с границей опасной зоны, а толщина потолочины составит принятые проектом 25 м.

Опыт отработки запасов разрезного слоя N3 свидетельствует о том, что для дальнейшей отработки запасов необходимо геомеханическое обоснование условий и порядка их выемки [1—3].

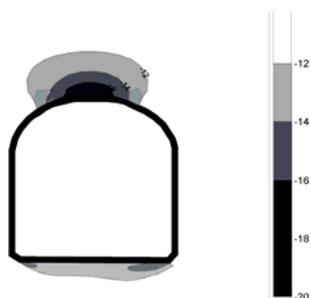
Анализ геомеханического состояния горных выработок и рудной потолочины проведен на основе результатов численных расчетов с использованием метода граничных интегральных уравнений. [4]. Поскольку размер СВРТ



**Рис. 3. Эпюры горизонтальных напряжений ( $\sigma_x$ ) в кровле при полной отработке слоя N3 и слоев N3 и N2**



**Рис. 4. Горизонтальные напряжения (МПа) в подкарьерном массиве после отработки слоев 3→2→1**

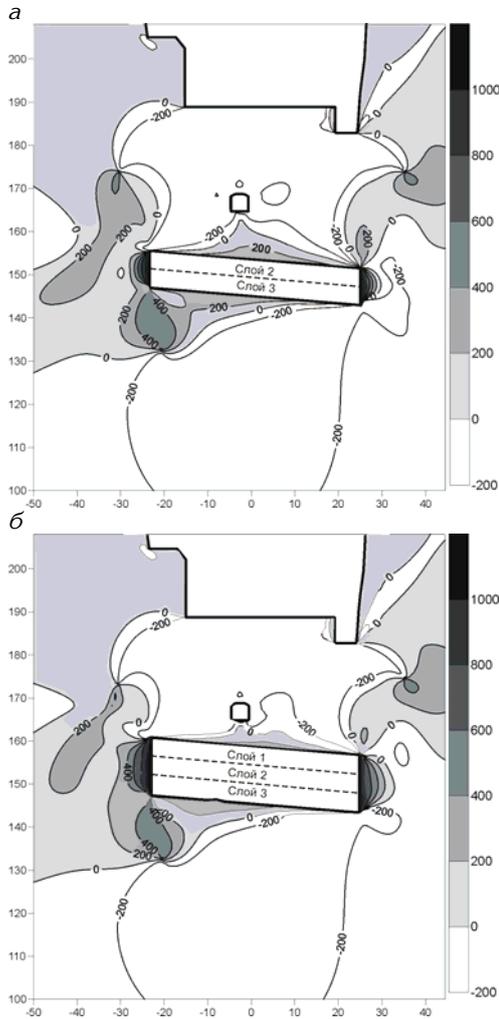


**Рис. 5. Зоны горизонтальных напряжений (МПа), превышающих предел прочности на сжатие отработки трех слоев, в кровле ВЗШ**

по длинной оси составляет около 350 м, а по короткой — 30 м  $\pm$  60 м, правомерно использовать в расчетах плоскую модель. Исходная информация по механическим свойствам рудного массива, используемая в расчетах, получена по данным лабораторных испытаний

керна диаметром 93 мм, отобранного из потолочине ВЗШ горизонтальных скважин в направлении простирания трубы. По результатам обработки установлены следующие показатели:  $\sigma_{сж}^{cp} \approx 12$  МПа,  $\sigma_p^{cp} \approx 1,1$  МПа, коэффициент Пуассона  $\nu = 0,3$ ; модуль Юнга  $E = 10$  ГПа. Напряженное состояние пород принято в соответствии с проектными данными вертикальные напряжения  $\sigma_z = \gamma H$ , горизонтальные  $\sigma_x = \sigma_y = \lambda \gamma H$ ;  $\lambda = 0,5$ .

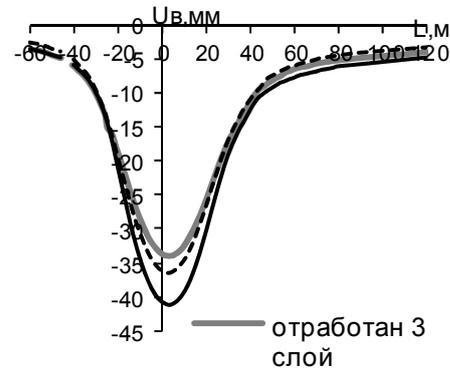
На рис. 2 приведена картина изолиний горизонтальных и вертикальных напряжений в рудной потолочине (по вертикальному сечению вдоль измерительного орта N2 на отм. +165 м) после полной отработки слоя 3 с учетом реальной геометрии дна карьера. Напряженно-деформированное состояние (НДС) рудной потолочкины характеризуется практически полной разгрузкой от вертикальных напряжений. В этом случае горизонтальные напряжений ( $\sigma_x$ ) являются определяющими при оценке устойчивости потолочкины. Их величина в кровле слоя не превышает  $-1 \div -2$  МПа. Повышенная концентрация напряжений отмечается под дном карьера в юго-восточной (ЮВ)



**Рис. 6. Зоны дополнительных растягивающих горизонтальных деформаций ( $\cdot 10^6$ ) после выемки слоев 3 — 1**

части рудного тела (размер зоны запрелдельного деформирования в рудной потолочине по условиям прочности на сжатие ( $\sigma_x > 12$  МПа) составляет 5–6 м ниже дна карьера), а также в кровле слоя N3 вблизи контактов рудного тела с вмещающими породами.

Эпюры изменения горизонтальных напряжений в кровле слоя N3 и в кровле отработанного пространства



**Рис. 7. Смещения массива в вертикальном направлении по оси разрезного орта**

после выемки слоев 3→2 (рис. 3) свидетельствуют о том, что величины сжимающих напряжений в кровле после отработки слоя N2 возрастают на 1 — 1,5 МПа, но не превышают прочность руды на сжатие. Наиболее сложная ситуация возникает на участке кровли вблизи контактов рудного тела (в пятиметровой зоне от контактов рудного тела, где величины напряжений сравнимы с  $\sigma_{сж} = 7 \div 12$  МПа).

По мере последовательной отработки слоев 3→2→1  $\sigma_x$  в центральной части потолочины у верхней ее границы возрастают (до 14 МПа), а на нижней (в кровле отработанных слоев) увеличиваются от -2 МПа (при отработанном слое 3) до -4 МПа при отработанных слоях 3-1 (рис. 4).

На рис. 5 приведены горизонтальные напряжения в кровле ВЗШ после отработки слоев 3 → 1. По мере последовательной отработки слоев в кровле штрека горизонтальные напряжения увеличиваются с -19,9 МПа до -24,5 МПа, что почти вдвое превышает предел прочности руды на сжатие.

Рис. 6 иллюстрирует изменение горизонтальных деформаций, вызванных формированием слоев слоя N3, 2 и последующей отработкой слоя N1.

На рис. 7 приведены эпюры вертикальных смещений рудного массива на отметке почвы ВЗШ при последовательной отработке слоев 3, 2, 1.

Анализ результатов расчетов НДС рудной потолочины позволил сделать следующие выводы:

В рудной потолочине при отработке слоев 3 → 1 отсутствуют зоны растягивающих напряжений как по верхней (дно карьера), так и на нижней (кровля очистного пространства) границах.

Влияние очистных работ приводит к увеличению горизонтальных напряжений в кровле ВЗШ. При этом зона неупругого деформирования возрастает до 1,5 м, что эквивалентно уменьшению размера предохранительного целика над ним.

В процессе развития очистных работ основная часть рудной потолочины испытывает дополнительное обжатие, что не создает условий для раскрытия трещин в рудном массиве, и, следовательно, не способствует возрастанию водопритоков со дна карьера (прежде всего — в ВЗШ). Наиболее опасной с точки зрения разруше-

ний потолочины является зона в кровле очистного пространства, где имеют место дополнительные растягивающие горизонтальные деформации. Развитие деформационных процессов и выделение границ неупругого деформирования нижней части потолочины подлежат обязательному контролю.

Максимальные вертикальные осадки в центральной части потолочины на отметках почвы ВЗШ достигают 40 — 43 мм, что позволяет контролировать процесс сдвижений массива по реперам профильных линий с использованием нивелирования.

### **Выводы**

По результатам численного анализа установлены закономерности формирования НДС подкарьерного массива СВРТ рудника «Айхал». Полученная информация может служить основой для организации наблюдений за состоянием потолочины инструментальными методами и принятия технических решений по усилению крепи ВЗШ для сохранения размеров предохранительного целика в пределах расчетных значений (8,5 м).

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Барышников В.Д., Гахова Л.Н. НДС подкарьерного массива в условиях слоевой отработки запасов ниже дна карьера / Труды междунар. конф. «Геодинамика и напряженное состояние недр земли». — Новосибирск: ИГД СО РАН. — 2006. — С. 150 — 155.

2. Барышников В.Д., Гахова Л.Н., Филатов А.П., Черепнов Н.А. Геомеханическое обоснование выемки запасов в слое при восходящей отработке подкарьерных запасов рудника «Айхал» // Горный информационно-аналитический бюл-

летень. — № 11. — 2007. — С. 191—195.

3. Барышников В.Д., Гахова Л.Н. Геомеханическое обоснование параметров слоевой камерно-целиковой системы разработки с закладкой на руднике «Айхал» // ФТПРПИ. — Н. — № 2. — С. 47—55.

4. Гахова Л.Н. Программа расчета напряженно-деформированного состояния массива блочной структуры методом граничных интегральных уравнений (ELB2D). РосАПО. свид. об офиц. регистр. №960814 от 17.12.2004. **ПАБ**

### **КОРОТКО ОБ АВТОРАХ**

Барышников Василий Дмитриевич — кандидат технических наук, зав. лабораторией диагностики механического состояния массива горных пород, e-mail: vbar@misd.nsc.ru,

Гахова Лидия Николаевна — кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, e-mail: vbar@misd.nsc.ru,

Институт горного дела Сибирского отделения РАН,

Крамсков Николай Петрович — доктор технических наук, главный научный сотрудник института «Якутнипроалмаз».