

УДК 622.831

**В.Д. Барышников, Л.Н. Гахова, В.В. Латынин**

**ГЕОМЕХАНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ОТРАБОТКИ  
РАЗРЕЗНЫХ СЛОЕВ ПРИ СЛОЕВОЙ НИСХОДЯЩЕЙ  
СИСТЕМЕ РАЗРАБОТКИ С ТВЕРДЕЮЩЕЙ ЗАКЛАДКОЙ\***

*Выполнен анализ геомеханических условий ведения горных работ при отработке разрезных слоев в условиях слоевой нисходящей системы отработки запасов вертикального рудного тела кимберлитовой трубки «Интернациональная». Обосновано оптимальное размещение нарезных выработок и порядок выемки заходок в слое.*

*Ключевые слова: приконтурный массив, геомеханический анализ, заходка.*

---

**П**одземная отработка запасов кимберлитовой трубки «Интернациональная» АК «АПРОСА», представляющей собой вертикальной рудное тело с овальной формой поперечного сечения, осуществляется с применением слоевой системы отработки с закладкой выработанного пространства твердеющими смесями. Месторождение по глубине разделяется на этажи (блоки), в пределах которых для увеличения производительности выемки одновременно может обрабатываться несколько подэтажей. В зависимости от устойчивости очистных заходок при отработке запасов этажа или подэтажа может применяться как восходящий, так и нисходящий порядок отработки слоёв. Горизонтальные слои высотой 3,5 ÷ 5,5 м обрабатываются по камерно-целиковой схеме заходками шириной 4 — 6 м.

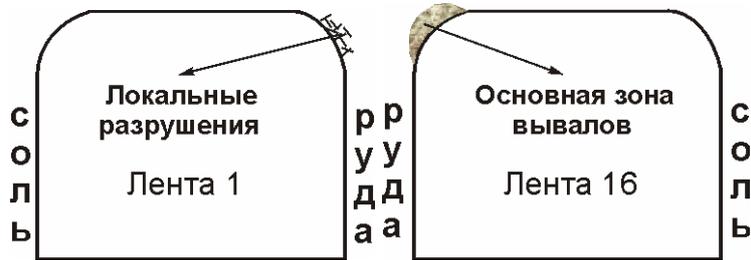
В настоящей работе приводятся результаты анализа геомеханической ситуации в окрестности заходок разрезных слоев в условиях развития очистных работ в нисходящем порядке (в условиях надрработки).

Отработка кимберлитовых запасов подземным способом сопряжена с необходимостью решения геомеханических задач по обеспечению безопасности ведения горных работ, надежность результатов которых определяется знанием основных параметров системы разработки, фактического напряженного состояния горного массива и закономерностей перераспределения НДС на различных стадиях горных работ [1—4].

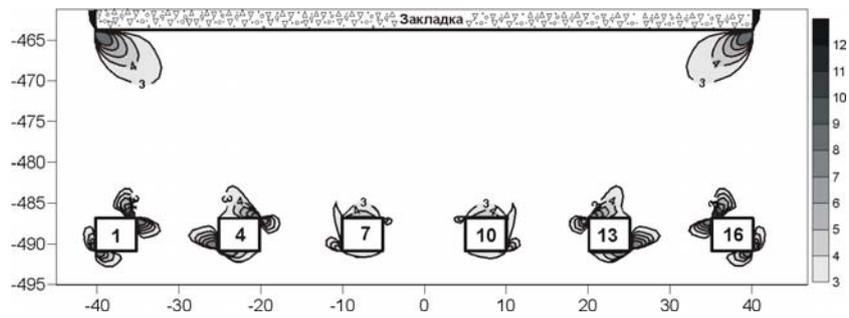
Для обоснованного подхода к выбору рациональных параметров применяемых систем разработки, прогнозу и обеспечению устойчивости их конструктивных элементов в сложившихся горно-геологических условиях выполнено численное моделирование НДС горного массива в процессе отработки и закладки заходок в слое. Для численного решения задач использован метод граничных интегральных уравнений [5]. В расчетах приняты модуль упругости  $E = 1,2 \cdot 10^4$  МПа, коэффициент Пуассона  $\nu = 0,25$  [4, 6]. Экспериментальные данные о параметрах естественного поля напря-

---

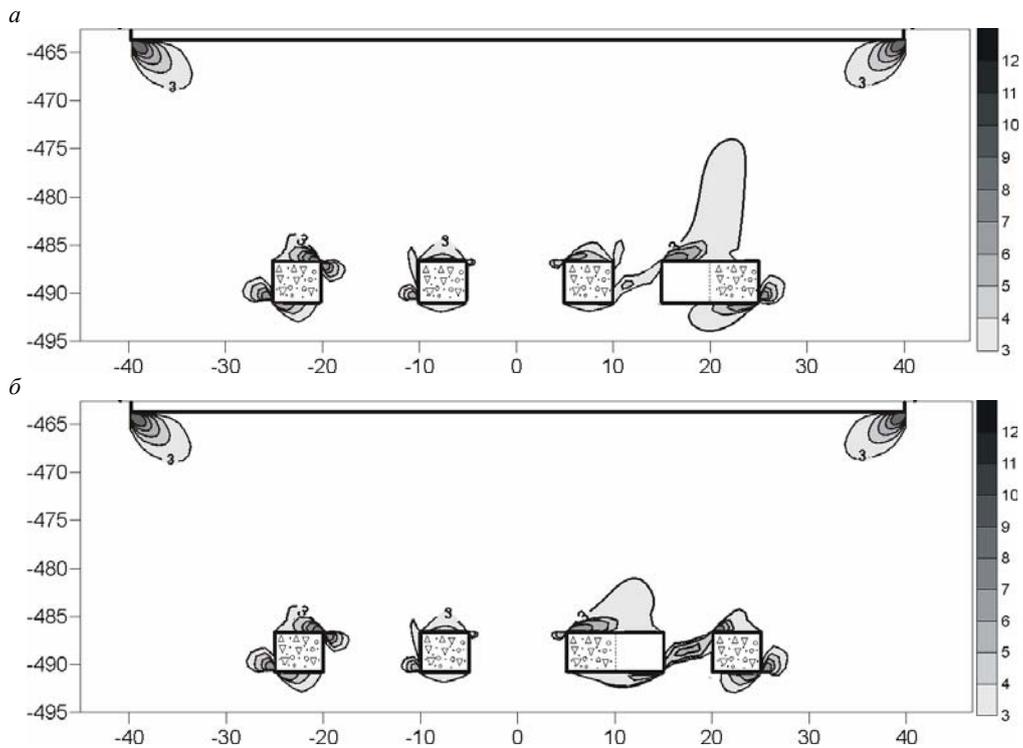
\* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранта 08-08-00113) и АК «АПРОСА»



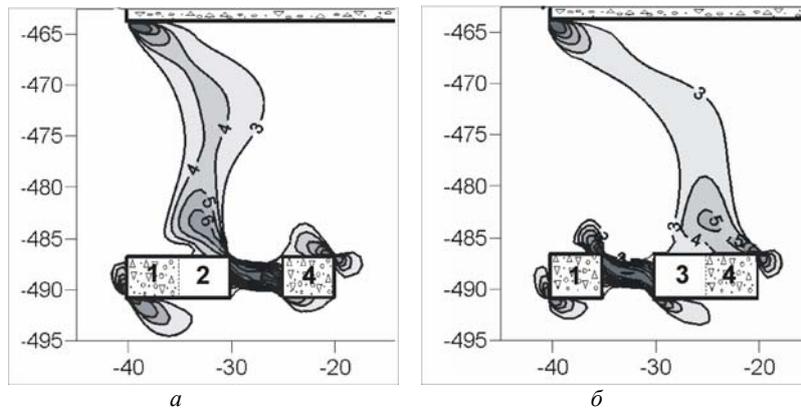
**Рис. 1.** а — локальные разрушения вдоль заходки 1; б — небольшие вывалы почти по всей длине заходки 16



**Рис. 2.** Изолинии  $\sigma_{xx}$  при отработке заходок 1-ой очереди (через 2 заходки)



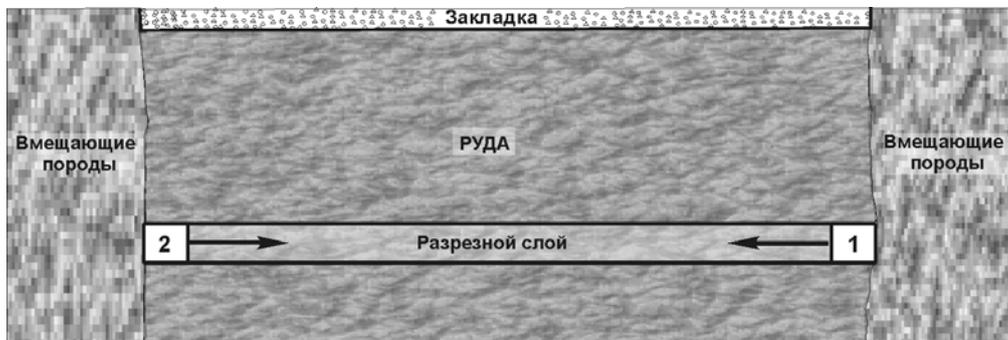
**Рис. 3.** Сдвигающие напряжения при отработке заходок второй очереди



**Рис. 4. Сдвигающие напряжения при отработке заходок второй очереди**



**Рис. 5. Разрушения в левом борту заходки 3 по данным визуальных наблюдений**



**Рис. 6. Развитие очистных работ от флангов к центру трубки**

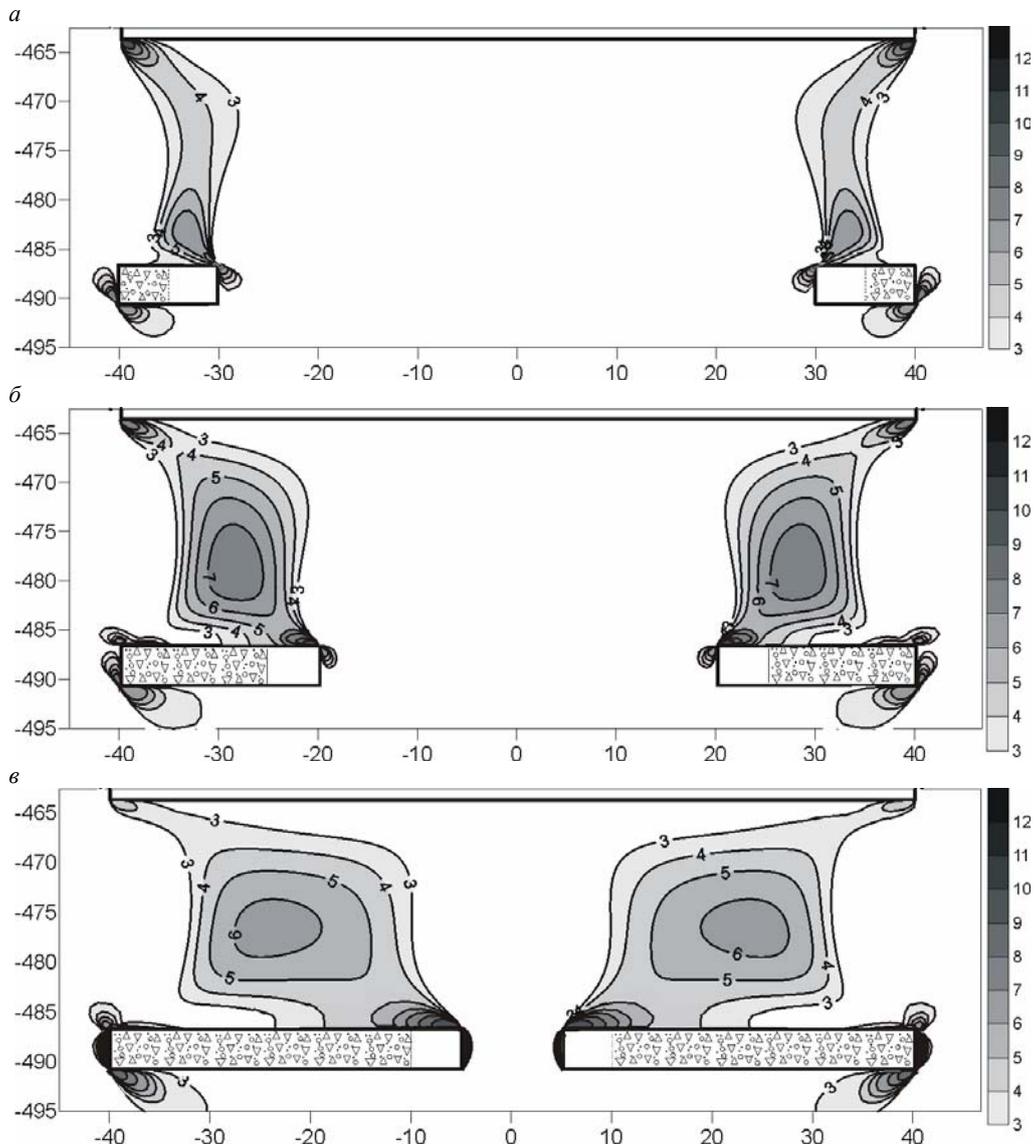
жений, полученные для условий рудника «Интернациональный», позволяют принять

$$\sigma_y^\infty = -\gamma H, \sigma_x^\infty = -\lambda \gamma H, \text{ при } \lambda=0,7,$$

где  $\sigma_y^\infty, \sigma_x^\infty$  - соответственно вертикальная и горизонтальная компоненты напряжений,  $\lambda$  — коэффициент бокового распора,  $\gamma$  — объемный вес пород,  $H$  — глубина разработки. Ин-

терпретация результатов проводится по численным значениям компонент напряжений ( $\sigma_x, \sigma_y$ ) и «сдвигающих» напряжений, позволяющих для анализа воспользоваться критерием Кулона-Мора

$$\sigma_{сд} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2 \cos \varphi} + \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} \operatorname{tg} \varphi, \quad (1)$$



**Рис. 7. Сдвигающие напряжения в условиях развития очистных работ от центра к флангам**

где  $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$  — главные напряжения;  $\varphi$  - угол внутреннего трения.

Опыт ведения очистных работ в блоке N7/8 показал, что основные проблемы по обеспечению устойчивости очистных заходок имеют место при разрезке слоя. Частичные разрушения отмечаются преимущественно в кров-

ле, реже — на её сопряжении с бортами и в бортах заходок вблизи при-контактной зоны. Наиболее отчетливо разрушения проявились при отработке самого нижнего разрезного слоя блока N7/8. При проходке заходок первой очереди (с шириной целиков, равной ширине двух заходок) имели место не-

большие разрушения приконтурного рудного массива с определенной закономерностью расположения зон разрушений: в периферийных заходках — в верхних плинтусах и на участках кровли, расположенных ближе к центру рудной трубки (рис. 1); в заходках центральной части трубки — по всей длине заходок симметрично по контуру кровли отмечалось шелушение руды в кровле. Исследования распределения НДС в приконтурной части заходок показали, что асимметрия разрушений в верхних плинтусах вызвана высокой концентрацией сдвигающих напряжений ( $\sigma_{сд}$ ) в этих зонах (рис. 2). По результатам визуальных наблюдений было установлено, что разрушение приконтурного массива имеет место в зонах, где  $\sigma_{сд} > 4$  МПа.

Таким образом, правомерность установленных численными методами закономерностей формирования НДС в их приконтурной части подтверждена результатами наблюдений за фактическим состоянием и разрушениями приконтурного массива при отработке заходок первой очереди.

Расположение заходок второй очереди планировалось «вприсечку» к заходкам первой очереди со стороны центра трубки (рис. 3, а). Было предложено изменения порядка выемки заходок второй очереди по отношению к планируемому. Отработка целиков от центра трубки более эффективно, чем от флангов: зона повышенных сдвигающих напряжений в кровле в этом случае формируется над заложённой заходкой первой очереди (рис. 3, б), в то время, как расположение вторичной заходки в целике со стороны флангов рудного тела приводит к формированию зон повышенных  $\sigma_{сд}$  в кровле заходки второй очереди (рис. 3, а). Аналогич-

ная ситуация возникает при отработке целиков на фланге рудного тела: расположение заходки второй очереди «вприсечку» с заходкой, пройденной по контакту рудного тела с вмещающим массивом, приводит к формированию в их кровле зон сдвигающих напряжений, превосходящих сцепление массива (рис. 4, а). Предложенный вариант позволяет снизить объемы разрушений в кровле очистных заходок 2-ой очереди (рис. 4, б). В оставшемся целике в обоих случаях сдвигающие напряжения превосходят сцепление массива в 1,5 — 2 раза. При этом прогнозировались разрушения в средней и нижней частях рудного борта (рис. 5, а).

Ниже приведены результаты наблюдений за состоянием очистных заходок в слое 16, подтверждающие установленные численными методами закономерности формирования НДС в их приконтурной части (рис. 5).

Необходимо отметить следующее:

- не зафиксировано нарушений устойчивости бортов заходок из закладки. Отдельные случаи разрушений (шелушение и трещинообразование) наблюдались в верхней части комбинированной закладки в местах резкого изменения профиля почвы вышерасположенной заходки, т.е. в локальных зонах пригрузки;

- по мере понижения горных работ для камерно-целиковой схемы разрезки наблюдается тенденция нарастания интенсивности разрушений очистных заходок: возрастает объем и протяженность зон разрушения при сохранении установленных закономерностей их местоположения.

Выполнен геомеханический анализ отработки разрезного слоя при развитии очистных работ от флангов — к центру (рис. 6). Работы в слое начинаются с первоочередной выемки крайних заходок для оконтуривания

рудного тела, а также обеспечения начала очистной выемки нижележащего слоя на участках под закладкой разрезного слоя с максимальной прочностью. Последующая отработка запасов осуществляется путем поочередной выемки заходок «вприсечку» к ранее отработанным и заложенным заходкам. При этом образуется два фронта очистных работ (рис. 6).

Анализ результатов численных расчетов (рис. 7) показал:

При выемке запасов в слое по схеме «от флангов — к центру» разрушения будут иметь место уже в райных заходках в верхнем плинтусе и в части кровли со стороны центра трубки. По мере развития фронтов очистных работ к центру трубки параметры (глубина и протяженность) зоны концентрации сдвигающих напряжений в верхнем рудном плинтусе и кровле возрастают, а при приближении к центральной части трубки — распространяются по всей её контуру. Такое

распределение напряжений потребует усиленного крепления заходок.

В зоне стыковки фронтов (при ширине целика между ними менее трех заходок) следует ожидать разрушения в рудном борту.

### **Выводы**

Определено критическое значение сдвигающих напряжений для прогноза разрушения конструктивных элементов слоевой системы разработки при развитии очистных работ в нисходящем порядке.

Установлено, что при выемке разрезного слоя в условиях надработки по камерно-целиковой схеме (с целиками шириной в две заходки) заходки второй очереди в целике следует располагать со стороны центра трубки.

Рассмотрены особенности формирования зон неупругих деформаций при развитии работ в разрезном слое двумя фронтами — «от флангов к центру». Показана необходимость крепления заходок всего слоя.

---

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Курленя М.В. Геомеханика и техносфера. — Новосибирск: Наука, 2004 г.
2. Курленя М.В., Серяков В.М., Еременко А.А. Техногенные геомеханические поля напряжений. — Новосибирск: Наука, 2005.
3. Казикаев Д.М. Геомеханика подземной разработки руд. — М.: Изд-во МГУ, 2005.
4. Барышников В.Д., Гахова Л.Н., Крамсков Н.П. Напряженное состояние рудного массива при слоевой системе разработки в восходящем порядке // ФТПРПИ. — 2002. — № 6.
5. 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.
6. Технологический регламент (временная технологическая инструкция) по производству закладочных работ на руднике «Интернациональный» в 2004—2006 гг. — Мирный: Якутнипроалмаз, 2004. **ГИАБ**

---

### **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,  
Латынин Валерий Владимирович — инженер, начальник рудника «Интернациональный АК «АЛРОСА».