

УДК 622.831

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

**ГЕОМЕХАНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА УСЛОВИЙ
ОТРАБОТКИ ЗАКОНТУРНЫХ ЗАПАСОВ
ПРИ СФОРМИРОВАННЫХ БОРТАХ КАРЬЕРА**

На основе анализа геомеханического состояния приборового массива и подкарьерной рудной толщи рассмотрены возможные варианты выемки и порядок вовлечения в отработку законтурных и подкарьерных запасов при переходе от открытого к подземному способу разработки трубы «Айхал» АК «АЛРОСА».

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние, математическое моделирование, прочностные свойства, устойчивость.

Семинар № 18

При комбинированной отработке месторождения после завершения открытых горных работ актуальны выбор и обоснование технологии подземной разработки запасов, которую можно разделить на два этапа: выемка приборовых и подкарьерных запасов открыто-подземным способом и собственно подземная отработка. Первый этап характеризуется большой сложностью с точки зрения обеспечения безопасных условий ведения горных работ независимо от принятой системы разработки (с обрушением или твердеющей закладкой). Прежде всего это связано с ведением горных работ в условиях предельного состояния бортов карьера и техногенного влияния открытой разработки на состояние массива ниже дна карьера. Отработанный карьер является потенциальным источником скопления паводковых вод и атмосферных осадков, что требует также дополнительных мер по управлению гидрогеомеханической ситуацией. В связи с вышеизложенным, вопросы геомеханического обоснования условий ведения горных работ в переходной зоне имеют важное значение.

В данной статье с учетом сложившейся горнотехнической ситуации на руднике «Айхал» АК «АЛРОСА» (Якутия) выполнен геомеханический анализ возможных вариантов выемки слепого рудного тела, оконтуренного в приборовом массиве на уровне отметок дна карьера в ходе эксплуатационной разведки и, как следствие, неучтенного в проекте отработки подкарьерных запасов.

По проекту института «Гипроникель» (г. Санкт-Петербург) подземную отработку запасов месторождения планируется начать с выемки вертикального падающего северо-восточного рудного тела (СВРТ), имеющего эллипсовидную форму в плане с размерами по простирианию около 250 м и переменной мощности в пределах 25 – 70 м. Вначале производится отработка законтурных запасов северо-восточной части СВРТ в отм. +330 ч +205 м системой подэтажного обрушения с открытым выработанным пространством. Затем в отработку вовлекаются подкарьерные запасы до отм. +150 м с применением системы подэтажного обрушения с торцевым выпуском руды под породной подушкой

с последующим переходом на слоевую систему с твердеющей закладкой. Вскрытие запасов осуществляется наклонными съездами из карьерного пространства с отметок + 265 м и +307 м. Параллельно с очистными работами ведется строительство подземного рудника с проходкой двух наклонных и одного вертикального стволов.

Законтурные запасы до отм. +205 м были отработаны системой с открытым выработанным пространством [1]. Последующая выемка до отм. +180 м производилась системой подэтажного обрушения под породной подушкой мощностью 25 м, созданной путем самообрушения и принудительного обрушения вмещающих пород. Анализ опыта применения последней показал, что имеют место серьезные осложнения с выпуском руды из-за её слеживаемости и смерзаемости в зимнее время, а также с защитой подготовительных и очистных выработок от поступления селеобразной массы в паводковый период. Первый фактор существенно снижает технико-экономические показатели выемки, второй - создает опасность прорыва скопившихся на дне карьера обводненных илов, что требует специальных мер по их осушении. Поэтому было принято решение о переходе к слоевой системе разработки с твердеющей закладкой под защитой подкарьерной рудной потолочины. Сложившаяся горнотехническая ситуация на руднике, характеризующаяся сложностью ведения очистных работ при выемке подкарьерных запасов системами с обрушением, незавершенностью строительства шахтных стволов и подготовки глубоких горизонтов, необходимостью форсированного строительства закладочного комплекса в случае перехода на системы с закладкой, остро ставит во-

прос о выборе участков и условий дальнейшей отработки для обеспечения производительности рудника.

Одним из доступных и подготовленных к разработке участков является слепое рудное тело (СРТ), вскрытое выработками при оборудовании водоотлива гор. +205 м. Оно представляет собой силлоподобное ответвление от СВРТ и имеет в плане близкую к изометрической форму, а в разрезе – линзообразную форму (рис. 1). СРТ локализуется в интервале отм. +205 ÷ +175 м. Его запасы составляют около 230 тыс. т. Необходимо отметить, что в центральной части СРТ отмечено пластообразное скопление крупных ксенолитов вмещающих пород площадью около 600 м² при средней мощности 5 м. Вмещающие породы средней трещиноватости представлены известняками, мергелями, доломитами (прочность на сжатие

$$\sigma_{cж} = 27 \div 36 \text{ МПа}; \text{ на растяжение}$$

$\sigma_p = 3 \div 5 \text{ МПа}$). Рудное тело сложено, в основном, кимберлитовой брекчии слабой и средней трещиноватости.

Исследования механических свойств, выполненные ИГД СО РАН путем испытаний образцов керна из шести равномерно расположенных в СРТ скважин Ш 112 мм, показали, что прочностные свойства кимберлитовой брекчии ($\sigma_{cж}^{cp} = 7,4 \text{ МПа}$;

$\sigma_p^{cp} = 0,7 \text{ МПа}$) в 1,5 – 2 раза меньше прочности руды основного рудного тела (СВРТ).

Вовлечение в отработку запасов СРТ, исходя из необходимости поддержания карьерной транспортной магистрали (петлевого съезда), на период ввода в эксплуатацию наклонных стволов (см. рис. 1) возможно

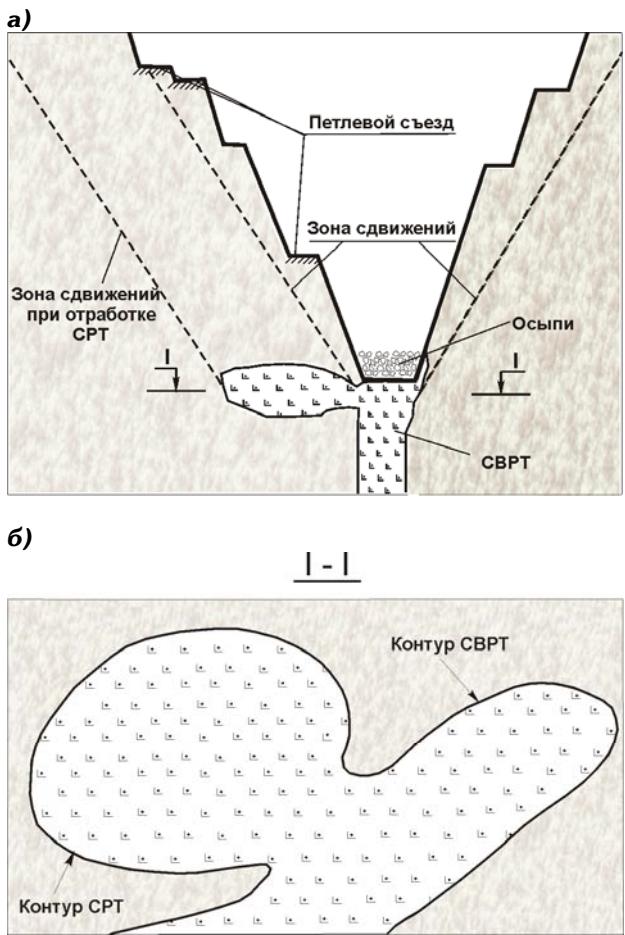


Рис. 1. Вертикальный разрез по оси СРТ (а) и план горизонта +190 м (б)

только с применением систем разработки с твердеющей закладкой. В качестве возможных вариантов рассмотрены слоевая система разработки с камерно-целиковым порядком выемки запасов в слое тупиковыми заходками 5×5 м и камерная система разработки с высотой камер на полную мощность СРТ. Геомеханическая оценка условий их применения выполнена на основе анализа результатов численного моделирования напряженно-деформированного состояния (НДС) конструктивных эле-

ментов методом граничных интегральных уравнений с использование комплекса программ ELB2D [3]. Предполагалось, что параметры исходного поля напряжений соответствуют гипотезе Гейма [4]:

$$\sigma_z^0 = \sigma_x^0 = \sigma_y^0 = -\gamma H$$

гидростатика,

$\sigma_x^0, \sigma_y^0, \sigma_z^0$ - исходные величины напряжений, действующих на глубине H , γ - средний удельный вес налагающей толщи пород.

Результаты численных расчетов НДС конструктивных элементов слоевой системы разработки при выбранных параметрах с учетом механизированной (комбайновой) проходки заходок (5×5 м) показали (рис. 2, 3):

- при восходящем порядке отработки слоев и, как следствие, с формированием разрезного слоя в почве СРТ горизонтальные напряжения в рудной кровле ($\sigma_x = 10 - 12$ МПа, см. рис. 2, а) превышают прочность кимберлита на сжатие

($\sigma_{сж}^{cp} = 7,4$ МПа), что потребует стопроцентного крепления заходок; в этом случае очевидно преимущество нисходящего порядка отработки;

- при нисходящем порядке отработки слоев с формированием разрезного слоя в верхней части СРТ, максимальные горизонтальные напряжения в кровле очистных заходок (σ_x не более 20 МПа, см. рис. 2, б), представленной вмещающими породами, не

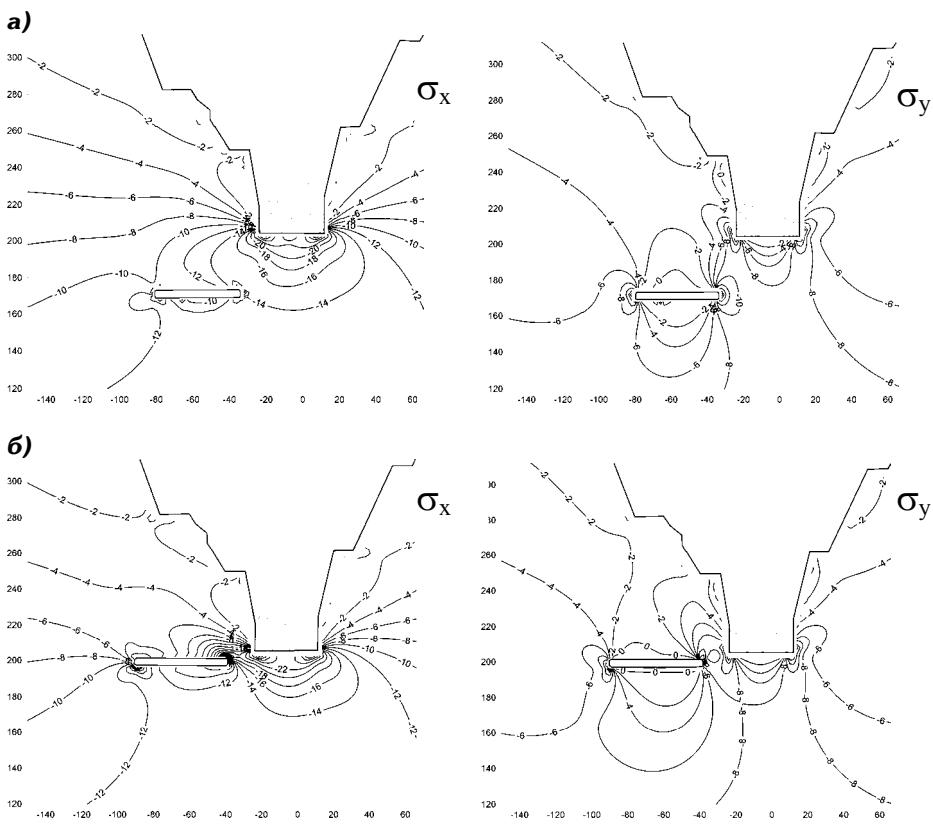


Рис. 2. Величины горизонтальных (σ_x) и вертикальных (σ_y) напряжений (МПа) в массиве при полной отработке разрезного слоя в почве (а) и кровле (б) СРТ

превышают прочность пород на сжатие ($\sigma_{сж} = 27 - 36$ МПа), что обеспечивает устойчивость кровли без применения крепи;

- при камерно-целиковой схеме отработки слоя заходками 5×5 м и ширине временного целика, равной ширине заходки (двухстадийная отработка), вертикальные напряжения в нем ($\sigma_y = 10 - 16$ МПа, см. рис. 3, а) превышают прочность кимберлита на сжатие ($\sigma_{сж}^{cp} = 7,4$ МПа); для целика шириной 10 м (трёхстадийная отработка) вертикальные напряжения ($\sigma_y < 6$ МПа, см. рис. 3, б) меньше

прочности кимберлита, что позволяет сохранить устойчивость заходок (кровли и боков) без применения крепления до момента подачи закладочной смеси.

Анализ результатов расчета НДС конструктивных элементов камерно-целиковой системы разработки с выемкой на полную мощность СРТ позволяет отметить следующее (рис. 4, 5):

- по фактору напряженного состояния устойчивость кровли камер и целиков достигается при их ширине 10 - 12 м (см. рис. 4); т.к. напряжения в кровле первичных камер (за исключением локального участка кровли ближней к СВРТ камеры, где $\sigma_x \approx 33$

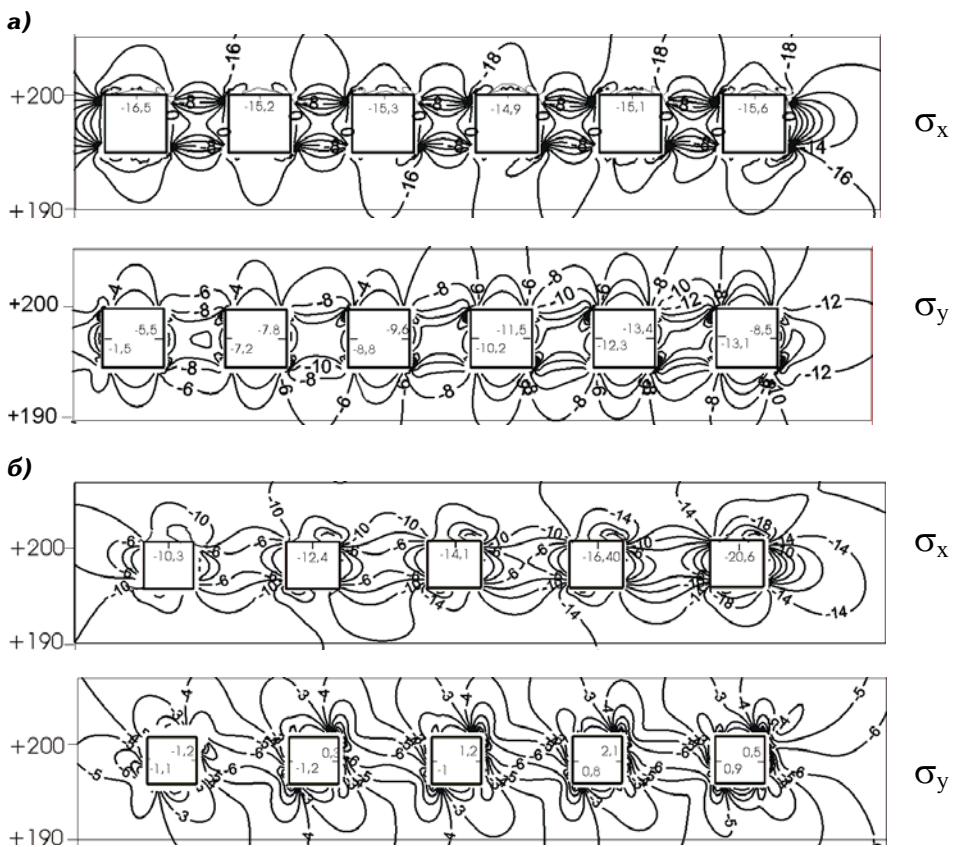


Рис. 3. Величины горизонтальных (σ_x) и вертикальных (σ_y) напряжений (МПа) в окрестности очистных заходок 5 м × 5 м при ширине временного целика 5 м (а) и 10 м (б)

МПа) $\sigma_x = 10 \div 25$ МПа (см. рис. 4, а)

- меньше прочности вмещающих пород, а вертикальные напряжения ($\sigma_y < 6$ МПа, см. рис. 4, б) - меньше прочности кимберлит на сжатие;

- для обеспечения устойчивости приборного массива (сохранности петлевого съезда, см. рис. 1, а) в районе СРТ размер оставленного целика между СРТ и СВРТ не должен быть менее 15 м; при этом измененная форма камеры (см. рис. 5, в) позволяет ликвидировать зону вертикальных растягивающих напряжений близлежащего к контакту бока камеры (со-

хранить его устойчивость), при этом величины горизонтальных σ_x (до 24 МПа) и вертикальных σ_y (до 6 МПа) напряжений не превышают прочности, соответственно, вмещающих пород и рудного массива, что обеспечивает сохранность приборного массива и подкарьерной рудной толщи и, как следствие, гидроизоляцию отработанного пространства от скопления на дне карьера обводненных илов.

Проведенные геомеханические исследования условий отработки подкарьерных запасов в сложившейся горно-технической ситуации наrud-

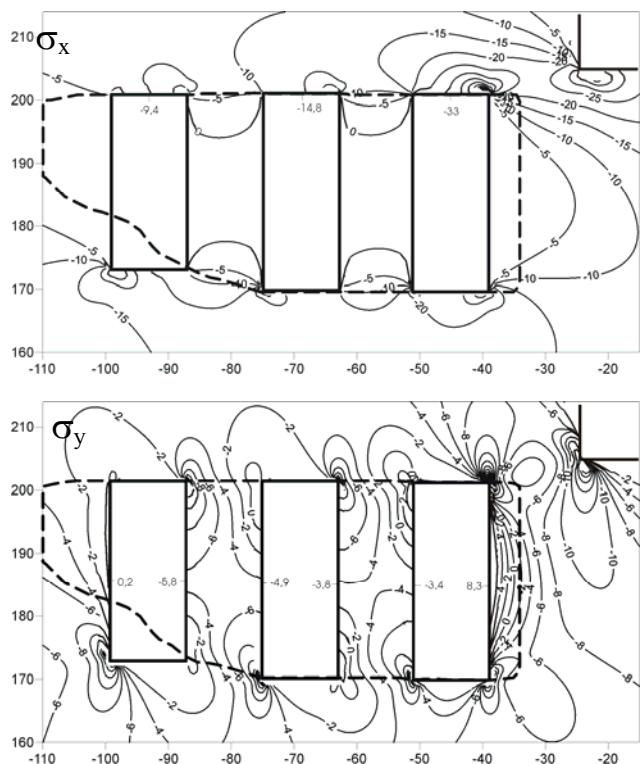


Рис. 4. Величины горизонтальных (σ_x) и вертикальных (σ_y) напряжений (МПа) в массиве при камерной отработке на полную мощность СРТ

нике «Айхал» позволили определить следующие возможные варианты развития горных работ.

1. Выемка руды при необходимости сохранения петлевого съезда в условиях незавершенного строительства рудника и отсутствия закладочного комплекса возможна в юго-западной части СВРТ с применением системы подэтажного обрушения только после осушения в ней обводненных донных отложений.

2. При необходимости вовлечение в отработку СРТ и сохранения петлевого съезда могут быть рассмотрены следующие системы разработки с твердеющей закладкой:

- слоевая нисходящая система разработки, обеспечивающая более пол-

ное и качественное извлечение руды за счет возможности селективной выемки ксенолитов в центральной части СРТ; при этом отработка заходок (5×5 м) первой очереди подсечного слоя с оставлением временных 10-метровых целиков позволит извлечь без применения крепи около 15 – 20 тыс. т товарной руды;

- камерная система разработки позволяет извлечь при отработке первичных камер, высотой 25–30 м, около 70–80 тыс. т с более низкими показателями (за счет разубоживания руды ксенолитами); при этом ширина камер и временных целиков составляет 10 ÷ 12 м.

После введения закладочного комплекса запасы СРТ могут быть полностью отработаны при условии оставления 15-метрового целика между СРТ и контуром СВРТ.

3. При переходе на слоевую систему разработки подкарьерных запасов под защитой рудной потто-лочины целесообразно рассмотреть вариант отработки СРТ совместно с оставленной потолочиной после формирования нижележащей искусственной потолочки. Поскольку к этому времени будет завершено строительство подземного рудника и необходимости в сохранении петлевого съезда нет, их совместная отработка может быть осуществлена с применением системы подэтажного обрушения под породной подушкой в комплексе с дополнительными мерами по осушению донных отложений.

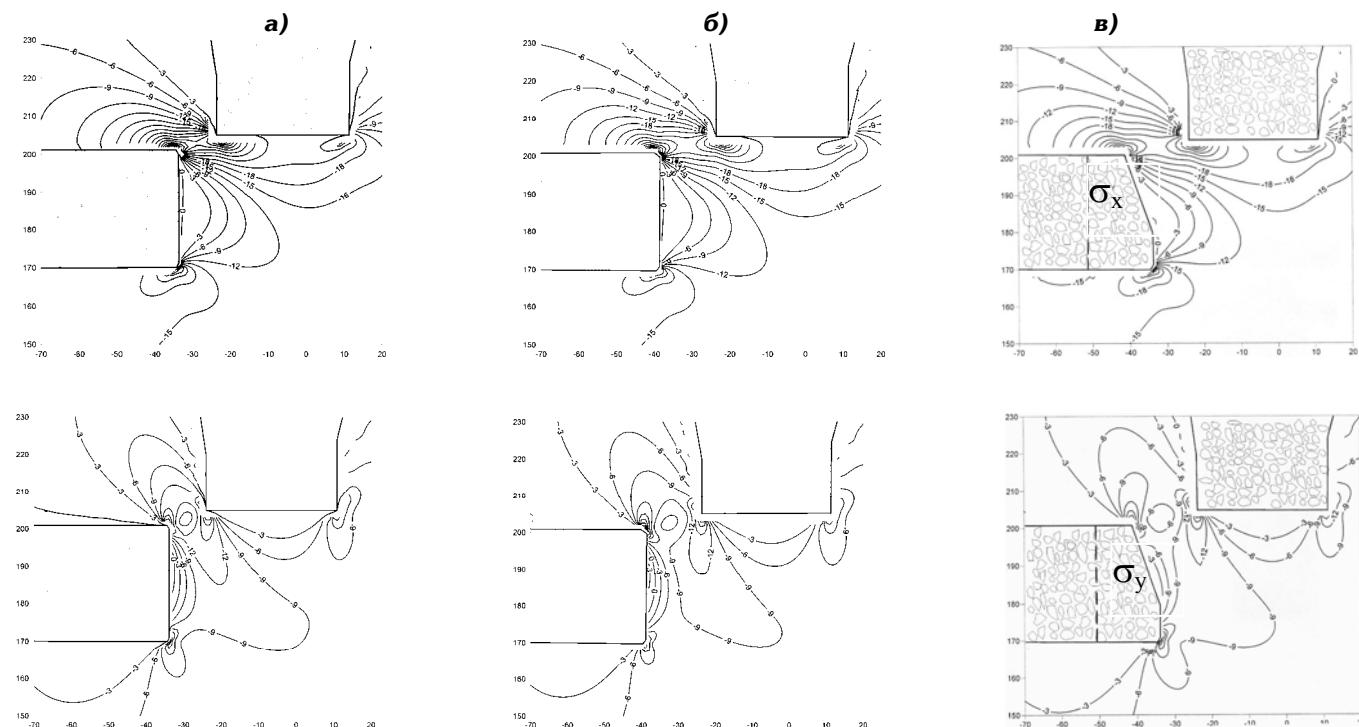


Рис. 5. Горизонтальные (σ_x) и вертикальные (σ_y) напряжения (МПа) в подкарьерной толще при ширине целика между СРТ и СВРТ 10 м (а), 15 м (б) и измененной форме крайней камеры (в)

Окончательный выбор стратегии подземной отработки подкарьерных запасов в переходной зоне на основе предложенных вариантов может быть

осуществлен с учетом необходимости обеспечения производительности рудника и анализа технико-экономических показателей добычи.

Работа выполнена при финансовой поддержке института «Якутнипроалмаз» АК «АЛРОСА»

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барышников В.Д., Ганченко М.В. Контроль бортов карьера в зоне перехода от открытой к подземной разработке месторождения // сб: Modern geomechanical methods in the mining industry and the underground civil engineering and tunnel construction.- Nessebar, Bulgaria.- 2003.- 105 – 112.
2. Барышников В.Д., Гахова Л.Н. Геомеханическая оценка условий выемки запасов вблизи борта карьера // сб. Открытая добыча полезных ископаемых. Устойчивость откосов и охрана окружающей среды.- Варна, Болгария.- 2003.- 97-106
3. Гахова Л.Н. Программа расчета напряженно-деформированного состояния массива блочной структуры методом граничных интегральных уравнений (ELB2D). РосАПО. свид. об офиц. регистр. №960814.
4. Мамонов А.Ф., Необутов Г.П. К проблеме отработки слепого рудного тела кимберлитового месторождения «Айхал» / Труды междунар. конф «геодинамика и напряженное состояние недр Земли.- Новосибирск, 2004. ГИАС

Коротко об авторах

Барышников В.Д. – кандидат технических наук, зав. лабораторией диагностики механического состояния массива горных пород ИГД СО РАН, E-mail: vbar@misd.nsc.ru
Гахова Л.Н. – кандидат физико-математических наук, ст. научный сотрудник, ИГД СО РАН, E-mail: vbar@misd.nsc.ru

Крамсков Н.П. – доктор технических наук, главный научный сотрудник института «Якутнипроалмаз».

