

УДК 622.831

В.А. Еременко, В.М. Серяков

**ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ
НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПОРОДНОГО
МАССИВА ПРИ ВЫЕМКЕ ПОДКАРЬЕРНЫХ ЗАПАСОВ
ТРУБКИ «УДАЧНАЯ» КАМЕРНО-ЦЕЛИКОВОЙ
СИСТЕМОЙ РАЗРАБОТКИ**

Проведены измерения методом электромагнитного излучения (ЭМИ) в подземных выработках на Западном участке для исследования геомеханического состояния массива горных пород.

Ключевые слова: электромагнитное излучение, массив горных пород, шелевая разгрузка.

Разработка кимберлитовых запасов трубки «Удачная» ведется открытым способом и в настоящее время глубина карьера составляет 470÷520 м. Его проектная глубина — 600 м (отметка –290 м), поэтому уже сейчас перед исследователями и проектировщиками в полной мере встают задачи, связанные с переходом с открытого на подземный способ разработки [1]. Общее время доработки запасов в карьере определяется несколькими годами, поэтому полностью подготовить весь комплекс капитальных и подготовительных сооружений на дневной поверхности и под землей весьма проблематично. Вместе с тем в период перехода от открытых к подземным работам должен быть обеспечен требуемый проектный график добычи. Одним из вариантов отработки первых горизонтов подкарьерных запасов кимберлитовой руды подземным способом, который может удовлетворить данным требованиям, является вариант камерно-целиковой системы разработки, обеспечивающий постепенный переход от открытых работ к подземным [2].

Согласно предлагаемому варианту подземные работы предлагается начать с гор. –380 м камерно-целиковой системой разработки непосредственно под дном карьера (рис. 1). Расположение вентиляционного и первых основных горизонтов (в том числе бурового) предусматривается на отметке –320 м с выдачей воздуха по скиповому стволу. Погрузочно-доставочный и первый основной транспортный (концентрационный) горизонты располагаются на отметке –380 м. Руда, отбитая в камерах и целиках, выгружается из выпускных выработок погрузочно-доставочной машиной и перепускается на капитальный рудоспуск на гор. –380 м или на гор. –480 м. Предполагается одновременное ведение очистных работ в Западном и Восточном рудных телах. Очистные работы на каждом горизонте начинаются с разрезки рудных тел в центральной их части с последующим движением фронта к флангам месторождения.

Последовательность ведения горных работ по формированию камер, оформлению рудных целиков и дальнейшему

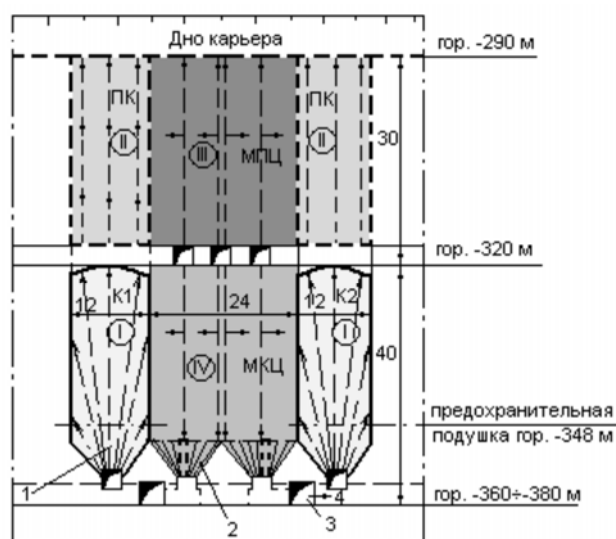


Рис. 1. Камерно-целиковая система разработки с обрушением руды под дном карьера: K1, K2 - камеры; ПК - панельная камера; МПЦ - межпанельный целик; МКЦ - междукамерный целик; I-IV - порядок отработки; 1 - траншея в камере; 2 - выпускные воронки под МКЦ (траншея); 3 - погрузочно-доставочный орт; 4 - доставка руды погрузочно-доставочной машиной к капитальному рудоспуску

их погашению можно разбить на несколько характерных этапов. На первом этапе оформления целика с обеих сторон от него создаются две камеры, высота которых составляет около двух третей от высоты отрабатываемого этажа. При этом в кровле блока образуется рудная потолочина мощностью, равной одной трети мощности отрабатываемого этажа. Далее высота камер увеличивается до высоты этажа. Если это первый горизонт подземной отработки месторождения, то верхняя граница представляет собой дно карьера. На следующем этапе разрушается верхняя часть сформированного рудного целика в пределах мощности потолочины. В последнюю очередь отрабатывается междукамерный целик. Далее фронт очистных работ развивается в направлении флангов рудных тел с со-

хранением той же последовательности операций по формированию камер и целиков.

Для оценки геомеханического состояния массива, соответствующего начальному периоду подземной отработки Западного и Восточного рудных тел камерно-целиковой системой разработки, было выполнено математическое моделирование разрежки рудных тел на верхнем горизонте подкарьерных запасов месторождения. Расчеты выполнены методом конечных элементов с помощью разработанной геомеханической модели определения напряженно-деформированного состояния породного массива в районе отработки трубки «Удачная» [3].

Для детального представления о характере перераспределения полей напряжений при отработке разрезных блоков на рис. 2 приведено напряженное состояние массива горных пород перед началом выемки подкарьерных запасов. Все напряжения даны в МПа. Рассмотрены наиболее информативные компоненты поля напряжений: главные напряжения σ_1 , σ_2 и максимальное касательное напряжение — $\tau_{\max}$. Выбор таких компонент продиктован тем, что σ_1 дает возможность установить области массива, в которых действуют растягивающие напряжения. Определение областей растяжения важно с точки зрения разрушения массива, так как вмещающие породы и рудное тело имеют значительно более низкий предел прочности на растяжение, чем на сжатие.

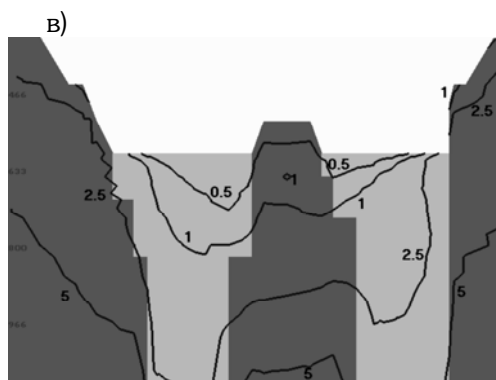
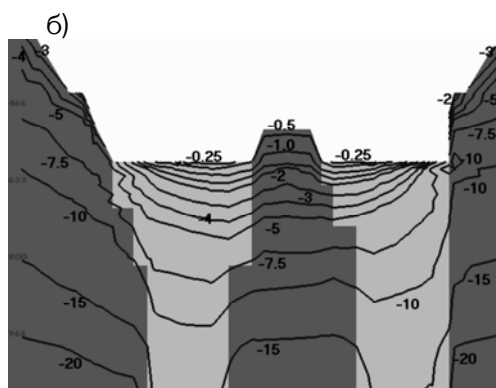
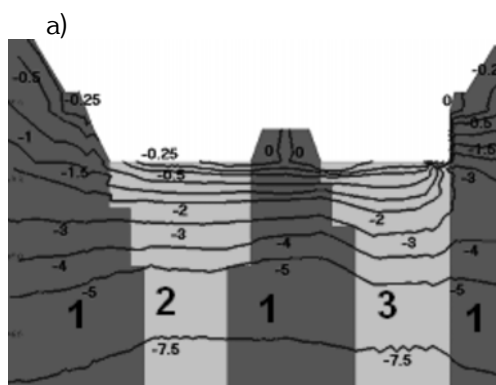


Рис. 2. Напряженное состояние массива горных пород перед отработкой подкарьерных запасов в Западном и Восточном рудных телах: σ_1 (а), σ_2 (б) и $\tau_{\max}$ (в); 1— вмещающие породы; 2— Западное рудное тело; 3— Восточное рудное тело

С помощью σ_2 определяются места концентрации сжимающих напряжений.

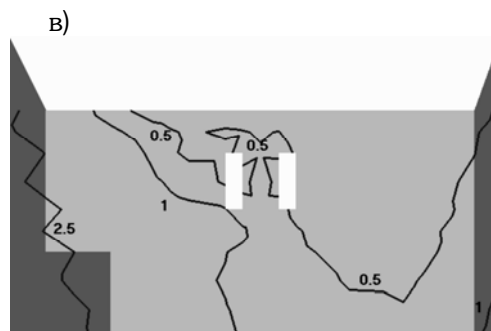
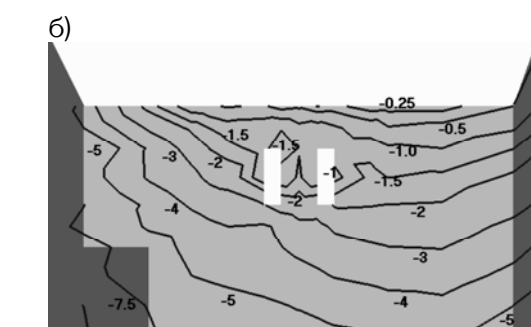
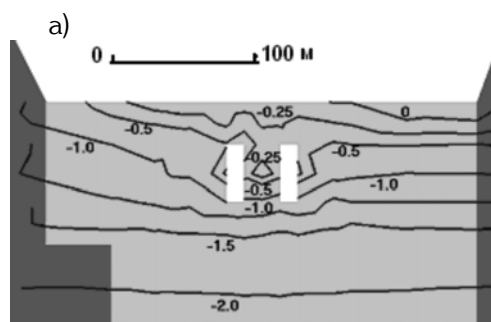


Рис. 3. Характер распределения полей напряжений σ_1 (а), σ_2 (б) и $\tau_{\max}$ (в) в Западном рудном теле на первом этапе отработки разрезного блока в этаже (-290)ч(-380) м

Исследованиями характера распределения $\tau_{\max}$ устанавливаются области массива горных пород, где возможно разрушение за счет возникновения критических сдвигающих усилий.

Отработка верхнего горизонта подкарьерных запасов осуществляется

в слабо напряженном массиве. Вследствие этого в зонах ожидаемых повышенных значений напряжений их величины по модулю не превышают 5 МПа. К таким зонам относятся: потолочина рудного блока, образуемая на первом этапе отработки; район почвы создаваемых камер; межпанельный и междуканнерный рудные целики. Анализ напряженного состояния рудного массива при отработке разрезного блока показал, что наибольшая концентрация напряжений образуется в области потолочины рудного блока на первом этапе его отработки, т.е. при образовании камер (рис. 3). Вследствие одинаковой картины распределения напряжений в Западном и Восточном рудных телах, далее проводится анализ геомеханической ситуации только в одном рудном теле.

На втором и последующих этапах отработки разрезных блоков в верхней части рудных тел на отработываемом этаже формируются обширные зоны действия растягивающих напряжений. Они сосредоточены в основном в окрестностях породного целика, разделяющего Западное и Восточное рудные тела. Однако уровень напряжений здесь невелик и не превышает 1 МПа. Необходимо отметить, что полная отработка разрезных блоков в центральной части обоих рудных тел не приводит к появлению областей действия растягивающих напряжений в прибортовых частях массива горных пород (рис. 4).

Развитие очистных работ в рудных телах рассмотрено для случая одновременного движения фронтов отработки в обоих направлениях от разрезного блока. Расчет напряженного состояния рудных тел и вмещающих пород проведен для тех же этапов образования камер и рудного целика, которые были рассмотрены выше. Все этапы развития очистных работ на

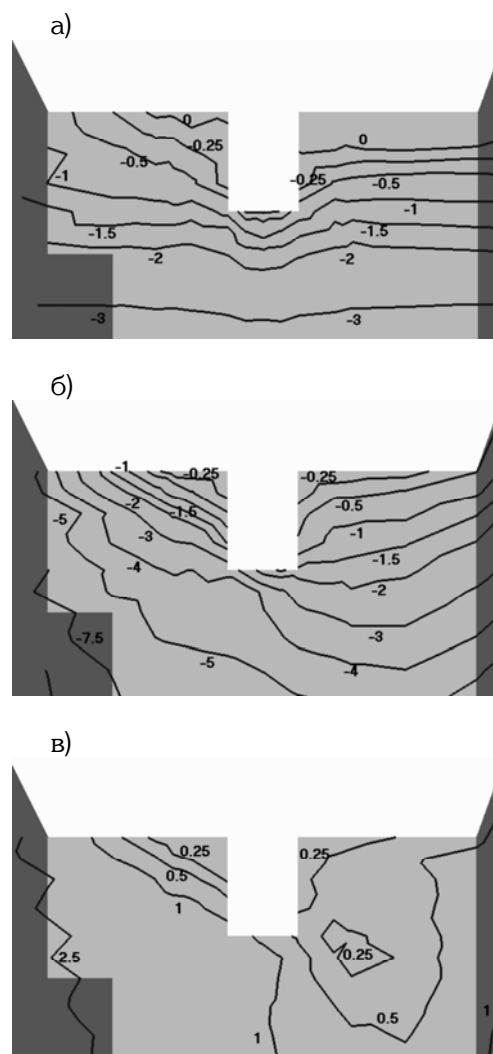


Рис. 4. Характер распределения полей напряжений σ_1 (а), σ_2 (б) и τ_{max} (в) в Западном рудном теле после выемки разрезного блока в этаже (-290)÷(-380) м

верхнем горизонте подземной отработки подкарьерных запасов характеризуются низким уровнем напряжений. Максимальные величины сжимающих и касательных напряжений достигаются в потолочине левой камеры на первом этапе горных работ по оформлению рудных целиков (рис. 5).

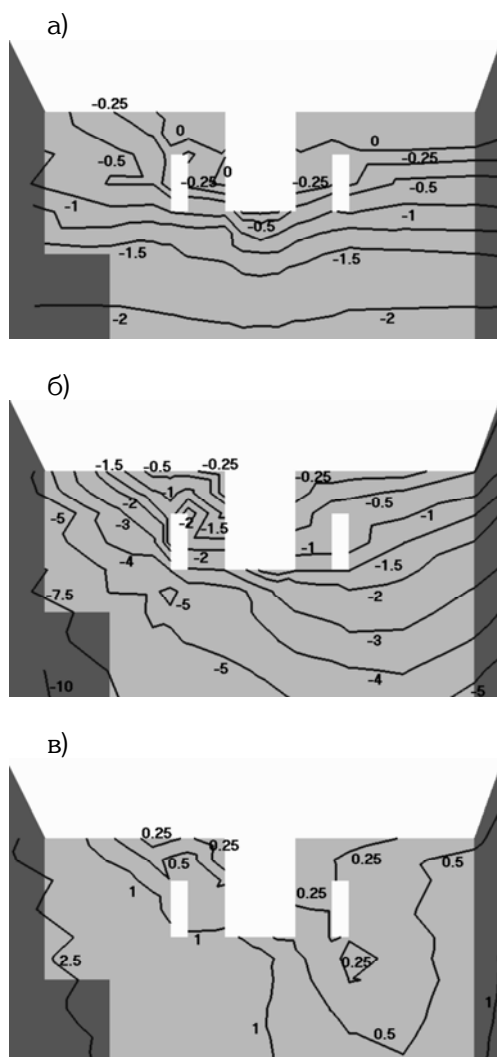


Рис. 5. Особенности напряженного состояния Западного рудного тела (σ_1 (а), σ_2 (б) и $\tau_{\max}$ (в)) в начальный период развития очистных работ в этаже (-290)-(-380) м: первый этап оформления рудных целиков

На дальнейших этапах отработки практически весь рудный массив верхнего горизонта разгружен от напряжений, действующих здесь до начала отработки этого этажа. Необходимо, однако, отметить следующее обстоятельство: развитие очистных

работ в направлении западного борта карьера будет происходить в условиях повышающегося уровня напряжений. Хотя их уровень даже в зонах концентрации будет незначителен, контроль геомеханического состояния элементов технологии отработки здесь будет необходим.

Дальнейшие особенности перераспределения полей напряжений в Западном и Восточном рудных телах рассмотрены для горнотехнической ситуации одновременной отработки двух горизонтов: на верхнем горизонте проведена выемка трех рудных блоков; на нижнем горизонте идет отработка разрезного блока. Расчет механического состояния массива также выполнен для всех этапов формирования очистных камер и рудного целика в разрезном блоке.

Анализ перераспределения напряженного состояния в Западном рудном теле показал, что наибольшая концентрация напряжений в районе отработки разрезного блока достигается на первом этапе формирования очистных камер (рис. 6). Область повышенных сжимающих напряжений располагается в рудной потолочине; уровень сжатия здесь приближается к -4 МПа. В целом же характер распределения напряжений имеет те же особенности, которые были установлены при анализе отработки разрезного блока на вышележащем этаже.

Отработка камер на всю высоту этажа и последующая выемка рудного целика разгружают район ведения очистных работ от повышенных напряжений. К наиболее существенным изменениям геомеханического состояния окружающего массива следует отнести появление обширной зоны растяжения в районе отработки вышележащего этажа. Она располагается в породном целике, разделяющем рудные тела, и занимает половину

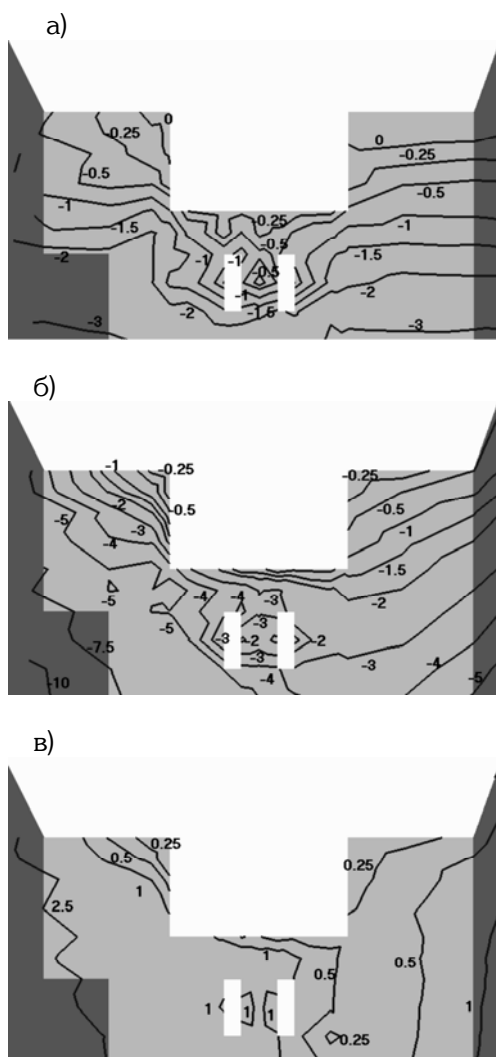


Рис. 6. Особенности напряженного состояния Западного рудного тела (σ_1 (а), σ_2 (б) и $\tau_{\max}$ (в)) после отработки трех рудных блоков в этаже (-290)÷(-380) м и начале очистных работ в этаже (-380)÷(-480) м: первая стадия оформления рудного целика в этаже (-380)÷(-480) м

высоты этажа. Также необходимо отметить, что в основании западного борта карьера напряжений растяжения не возникает (рис. 7).

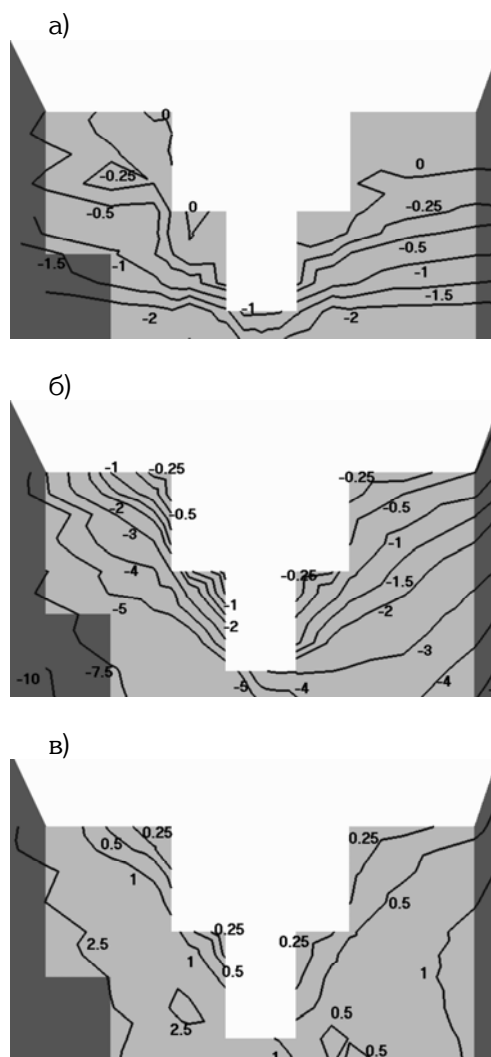


Рис. 7. Напряженное состояние породного массива в районе отработки Западного рудного тела (σ_1 (а), σ_2 (б) и $\tau_{\max}$ (в)) после выемки трех рудных блоков в этаже (-290)÷(-380) м и одного блока в этаже (-380)÷(-480) м

Таким образом, к наиболее существенным особенностям напряженного состояния массива, вносимым отработкой двух горизонтов, является формирование обширных зон растягивающих напряжений в районе ведения очистных работ в вышележа-

щем этаже. Хотя уровень растяжения здесь незначителен (менее 1 МПа), все этапы отработки камер и образования рудных целиков должны быть под постоянным геомеханическим контролем.

Выводы

1. В начальный период развития очистных работ к флангам месторождения в этаже $(-290) \div (-380)$ м Западного и Восточного рудных тел в верхних частях рудных потолочин будут формироваться области растяжения σ_1 с уровнем напряжений, не превышающем 0,5 МПа.

Наибольшая концентрация сжимающих напряжений σ_2 также будет достигаться в породах рудной потолочины (до -7 МПа). Полная выемка трех камер не вызовет появления зон растяжений в бортах карьера.

2. В начальный период ведения очистных работ на этажах $(-290) \div (-380)$ м и $(-380) \div (-480)$ м наибольшая концентрация сжимающих напряжений (до -5 МПа) будет создаваться в рудной потолочине разрезных камер и в межпанельном и междукammerном рудных целиках этажа $(-380) \div (-480)$ м.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пучков Л. А., Кузьмин Е. В., Казикаев Д. М., Калитин В. Т., Зуев В. М. Проблемы перехода на подземную разработку алмазных месторождений Якутии. Горный информационно-аналитический бюллетень. М. 1999, № 5. — С. 138-140.

2. Еременко А.А., Клишин В.И., Филатов А.П., Еременко В.А. Выемка подкарьерных запасов кимберлитовой руды камер-

но-целиковой системой разработки. Вестник РАЕН. Западно-Сибирское отделение. Вып. 9. Кемерово, 2007. — С 152-158.

3. Еременко А. А., Серяков В. М., Филатов А. П. Оценка напряженного состояния массива горных пород при отработке подкарьерных запасов трубки «Удачная» // ФТПРПИ. — 2007. — № 4. — С. 25-36.

ГИАБ

Коротко об авторах

Еременко А.А. — доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией ИГД СО РАН;

Серяков В.М. — доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник ИГД СО РАН, yge@ngs.ru



Устраивает ли ГИАБ акции?

Редколлегия ГИАБа регулярно проводит встречи с авторами и читателями журнала в рамках ПЕН-клуба издательства «Горная книга». Во время презентаций не предусматривается скидок на подписку и на отдельные номера, потому что производственные расходы на выпуск ГИАБа с трудом укладываются в суммарные доходы от всех видов поступлений. Спонсоров ГИАБ не имеет.