

К.Ж. Усенов, А.П. Алибаев, А.Р. Такеева  
д.т.н., проф., ЖАГУ; декан ЖАГУ; старший преподаватель ЖАГУ  
K.J. Usenov, A.P. Alibaev, A.R. Takeeva  
d.t.s., prof., JASU, dean JASU, senior teacher JASU

## **НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРИБОРТОВОЙ ЗОНЫ КАРЬЕРОВ ПРИ КОМБИНИРОВАННОЙ РАЗРАБОТКЕ КРУТОПАДАЮЩИХ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

*В последнее время в республике наблюдается тенденция роста числа горнодобывающих предприятий, предусматривающих использования комбинированного способа выемки запасов (Макмал, Кумтор, Чаарат, Бозымчак и др.), что требует решение актуальной научной задачи, заключающейся в исследовании напряженно-деформированного состояния (НДС) припортовой зоны карьеров.*

*Ключевые слова: горнодобывающие предприятия, рудные месторождения, карьеры, научные задачи, полиметаллические руды.*

## **STRESS-STRAIN STATE BOARD ZONE OF QUARRY AREA AT THE COMBINED DEVELOPMENT OF STEEPLY DIPPING ORE DEPOSITS**

*Recently there has been a trend increase in the number of mining companies in the country, providing a combined method of excavation reserves (Makmal, Kumtor Chaarat, Bozymchak et al.), Which requires a decision of an actual scientific problem is to study the stress-strain state (SSS) of the port area quarries.*

*Keywords: mining companies, mineral deposits, quarries, scientific problems, complex ores*

Анализ литературных источников и опыта работы горнодобывающих предприятий показывает, что основными факторами, влияющими на показатели извлечения в прибортовой зоне, являются НДС подрабатываемого подземными работами массива горных пород, их прочностные и деформационные характеристики. В свою очередь НДС определяет параметры камер при выемке запасов руды в борту карьера, которые необходимо обосновать для охраны подработанного подземными работами борта карьера от его сдвижения и разрушения.

Терек-Сайский рудник разрабатывает месторождение полиметаллических руд комбинированным способом [1]. Рудное тело 10-ю месторождения «Тереккан» расположено в южной части месторождения на левобережье реки Терек-Сай и приурочено к крутопадающей зоне дробления. Часть рудного тела 10-ю расположено под дном карьера. Верхняя часть отработана карьером до отметки 1605м. Угол падения рудного тела  $-55^{\circ}$ . Мощность рудного тела варьирует от 0,7 до 10м, и в среднем составляет порядка 3м.

Система разработки с магазинированием руды предусматривается для отработки запасов камеры, где мощность рудного тела колеблется от 1,5 до 4,0м, составляя в среднем 3,5м, при устойчивых рудах и вмещающих породах.

Системы разработки с отбойкой руды из подэтажных штреков применяется при отработке запасов камер, где средняя мощность рудного тела 6,5м и более, т.е. мощность рудного тела более 4,5м.

Для отработки подкарьерных запасов применялась система разработки с магазинированием руды с отбойкой основной части запасов блока с помощью скважин. Для отбойки остальной части запасов, расположенных непосредственно под дном карьера применялась мелкошпуровая отбойка руды. При этом оставлялась рудная потолочина мощностью 6 метров.

При отработке запасов Терекканского месторождения в последнее время участились случаи внезапного самообрушения потолочин камер (таблица №1).

Из таблицы видно, что внезапные самообрушения потолочин при выемке подкарьерных запасов приводит к существенному осложнению технологических процессов, сопровождаются значительными потерями полезных ископаемых, а иногда и горно-шахтных оборудований, ухудшаются технико-экономических показатели рудников [2-5 и др.].

Анализ причин возникновения случаев самообрушения потолочин показывает, что главной причиной этих нарушений является ведение горных работ без учета существующих горногеологических, горнотехнических условий и геомеханической ситуации на отрабатываемом месторождении и вследствие этого неправильный выбор системы разработки.

В связи с этим возникла необходимость изучения напряженно-деформированного состояния массива дна карьера «Тереккан».

Исследованием физико-механических свойств массива пород месторождения Тереккан занимались различные организации в разные года [1]. Предварительная разведка проводилась под руководством Колесникова (1965г.), затем Образцовым (1968г.), М.Терметчиковым (1979г.) и Назаровым (1978г.) [1]. Горно-геологическая обстановка в районе месторождения считается достаточно сложной. Физико-механические свойства пород разных образцов, которые отбирались на различных глубинах, отличаются друг от друга незначительно. С ростом глубины увеличение тектонической нарушенности массива не наблюдается. Напряженно-деформированное состояние массива с глубиной изменяется за счет статической нагрузки вызываемой весом вышележащей толщи [1].

В исследованиях, проведенных под руководством И.Айтматова, отмечается [6], что в пределах Чаткало-Кураминской складчатой системы выделяется жесткий Кассанский блок, в основании которого залегает толща докембрийских пород.

Таблица 1

### Характер обрушения потолочин камер

№ п/п	Характер обрушения	Время	Место	Причины	Принятые меры
1	Заколообразование, обрушение горной массы в камере, потрескивание целиков между заездами в камеру, обрушение горной массы из борта карьера в небольших объемах	апрель 2009г.	Борт карьера 10-ю, кровли и борта очистных выработок на горизонте штольни №25	В результате обильных дождей ухудшилась устойчивость борта карьера 10-ю, кровли и борта очистных выработок на горизонте штольни №25. Сложные горно-геологические условия, рудовмещающие породы подвержены сильному дроблению тектоническими нарушениями и имеют неустойчивую характеристику,	Систематические наблюдения за состоянием массива в камерах
2	Самообрушение борта карьера, обрушение потолочины (4м),	30 апреля 2009г.	Борт карьера, потолочина (4м) камеры 4	Сильное землетрясение, 6 баллов по шкале Рихтера	Для выемки запасов данного блока было

	очистное пространство было заполнено, запасы отбитой руды оказались под завалами, часть готовых к выемке запасов руды была потеряна (16570т), содержание золота в руде снизилось от 5,6 до 1,0 г/т				предложено изменить систему разработки, т.е. увеличивать параметры целиков и потолочины
3	Самообрушение потолочины камеры-4	май, 2009г.	Потолочина камеры 4 рудного тела 10-ю	Сложные горно-геологические условия месторождения, сильное дробление рудовмещающих пород потолочины тектоническими нарушениями	Систематические наблюдения за состоянием пород потолочины
4	После массового взрыва произошло самообрушение потолочины камеры-10 вокруг восстающего №2 рудного тела 11-ю. Образовалась щель диамет. 10-12м с выходом на дневную поверхность	24 марта 2011г.	Камера 10 рудного тела 11ю, высота потолочного целика h=8м	Массовый взрыв производился на самом верхнем подэтаже; неустойчивые рудовмещающие породы; на поверхности рудовмещающие породы были сильно увлажнены ливневыми дождями.	Систематические наблюдения за состоянием потолочины камеры
5	При проходке бурового штрека (на 10метре) камеры-13 из-за геологических условий произошло самообрушение кровли	ноябрь 2011г.	Буровой штрек камеры 13,	Неустойчивость горных пород, (под завалами остались комплекты горно-проходческих оборудования)	

Подобные отдельные жесткие и более монолитные массивы в подвижных и сейсмоактивных областях могут играть роль концентраторов напряжений в верхних частях земной коры. Эти массивы и блоки обычно сравнительно просто выделяются в процессе геологического и тектонического изучения района, а также при выполнении геологоразведочных работ. В таких местах следует ожидать иных закономерностей распределения напряжений, чем в целом по региону.

Результаты исследований ПИЦ “Кен-Тоо” показали [1], что физико-механические свойства руды месторождения более крепкие, чем вмещающие породы. Коэффициент крепости по М.Протодяконову составляют для руд  $f=9-16$ , для вмещающих сланцев  $f=4-8$ . Известняки имеют коэффициент крепости  $f=8-10$ . Объемный вес пород в целиках составляет: малосульфидные руды  $-2,7 \text{ т/м}^3$ , сульфидные руды  $-3,07 \text{ т/м}^3$ . По этим целикам значение коэффициента рыхления колеблется от 1,34 до 1,547, составляя в среднем  $-1,44$ .

Средняя влажность для руд  $-0,26\%$ . Объемный вес окисленных руд  $-2,33 \text{ т/м}^3$ , а средняя влажность  $-1,23\%$ .

Руды месторождения устойчивые, вмещающие породы – средней устойчивости и неустойчивые. Сцепление массива определенное по формуле Фисенко составляет: - для руды  $-3,5 \text{ кгс/см}^2$ , для вмещающих пород  $1,47 \text{ кгс/см}^2$ .

Деформационные свойства руд и вмещающих пород месторождения представлены в таблице 2 [1].

Таблица 2

**Физико-механические свойства руд и вмещающих пород месторождения**

№ п/п	Наименование	Прочность МПа		Коэф. крепости	Модуль упругости, $E, 10^4, \text{ гс/см}^2$	Коэф. Пуассона	Удельный вес, $\text{г/см}^3$	Объемный вес, $\text{г/см}^3$	Пористость	Угол внутр. трения	Сцепление
		на сжатие	на разрыв								
1	Руда (кварцевая брекчия, березиты, катаклазиты)	89,0	23,6	14-18	3,0	0,25	2,78	2,71	1,0	50	32,5
2	Кварцево-слюдистые сланцы	48,0	7,6	4-8	1,1	0,18	2,75	2,70	1,6	48	11,0
3	Джаспероиды	107,9	10,5	7-11	2,1	0,23	2,75	2,65	2,7	41	11,5
4	Мрамор	82,0	11,3	8-12	3,5	0,23	2,71	2,69	2,5	40	12,5

Для изучения напряженно-деформированное состояние массива горных пород Терекканского месторождения при отработке подкарьерных запасов был использован метод конечных элементов [7]. Количество узлов  $-338$ , количество элементов  $-92$ .

Для расчета согласно геологическому разрезу XII-XII рудного тела 10-ю были приняты следующие параметры карьера (рис.1): высота правого борта  $-75\text{м}$ , левого борта  $-48\text{м}$ , ширина дна карьера  $-20\text{м}$ . Угол наклона правого борта  $-78^\circ$  и левого борта  $-77^\circ$ .

Для расчетов были использованы следующие физико-механические свойства руды и породы: порода - кварцевая брекчия, модуль Юнга  $-30000\text{МПа}$ , Коэффициент Пуассона  $-0,25$ , объемный вес  $-27100\text{Н/м}^3$ , сцепление  $-32,5\text{МПа}$ , угол внутреннего трения  $-50$  град. Руда - кварцево-слюдистые сланцы, модуль Юнга  $-11000\text{МПа}$ , Коэффициент Пуассона  $-0,18$ , объемный вес  $-27000\text{Н/м}^3$ , сцепление  $-11\text{МПа}$ , угол внутреннего трения  $-48$  град. [2].

Под дном карьера происходит снижение значений вертикальных напряжений, которые за пределами дна постепенно возрастают (рис.2).

Наибольшие значения горизонтальных сжимающих напряжений образуются в пределах рудного тела на глубине ниже  $10\text{м}$  от дна карьера. Здесь образуется зона сравнительно повышенных сжимающих напряжений со значениями от  $0,368\text{МПа}$  до  $0,580\text{МПа}$ .

Зона повышенных растягивающих напряжений возникает на месте пересечения дна и левого борта карьера. Эта зона распространяется по рудному телу до глубины, равной  $(0,4-$

$0,5)N_d$  (где  $N_d$ - ширина дна карьера). Значения этих напряжений в этой зоне меняется от 1,54МПа до 0,106МПа.

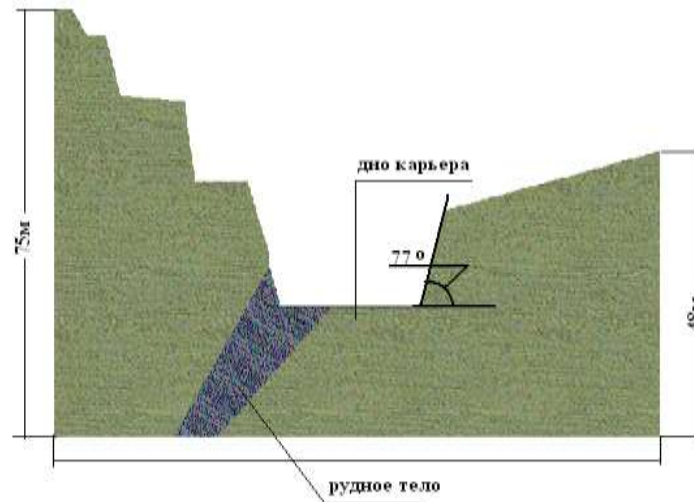


Рис. 1. Проекция на вертикальную плоскость рудного тела 10-ю месторождения Тереккан, профиль XII.

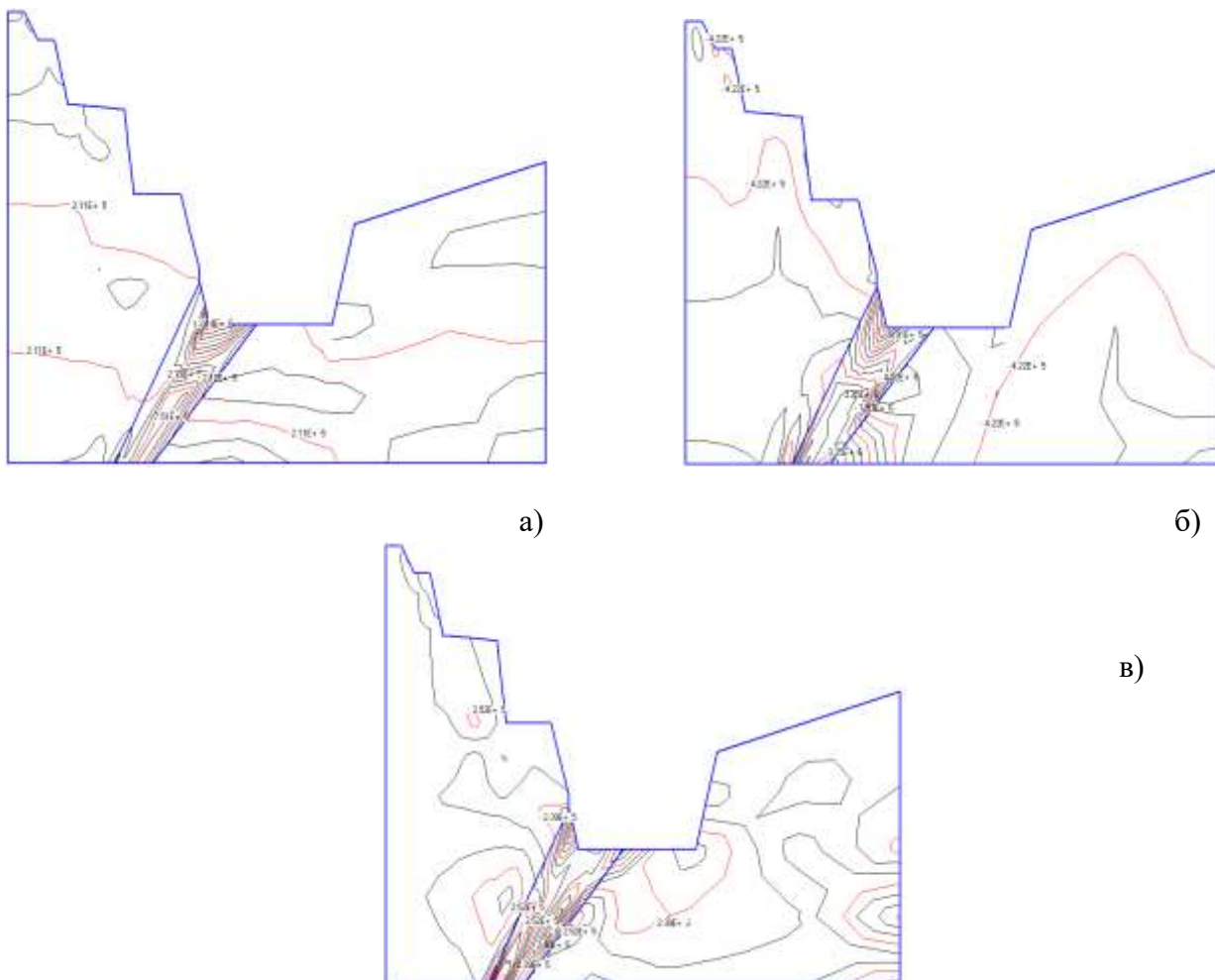


Рис. 2. Распределение а) горизонтальных, б) вертикальных в) касательных напряжений по разрезу XII.

Зона сравнительно небольших горизонтальных растягивающих напряжений в приповерхностной части левого борта распространяется до места пересечения висячего бока залежи и борта карьера. Значения растягивающих напряжений в этой точке равняется 0,253МПа.

Под дном карьера за пределами рудной залежи со стороны лежачего бока наблюдаются сжимающие напряжения, которые с глубиной переходят в растягивающие.

Далее осуществлена оценка напряженного состояния по сечению XIII-XIII. Количество узлов составляло 490, количество элементов -132.

Принятые параметры карьера для данного разреза: высота левого борта -75м, правого борта -51м, ширина дна карьера -6,5м. Угол наклона правого борта -75° и левого борта -80°. Верхняя часть отработана карьером до отметки 1605м. Угол падения рудного тела в этом горизонте - 55° (рис.3).

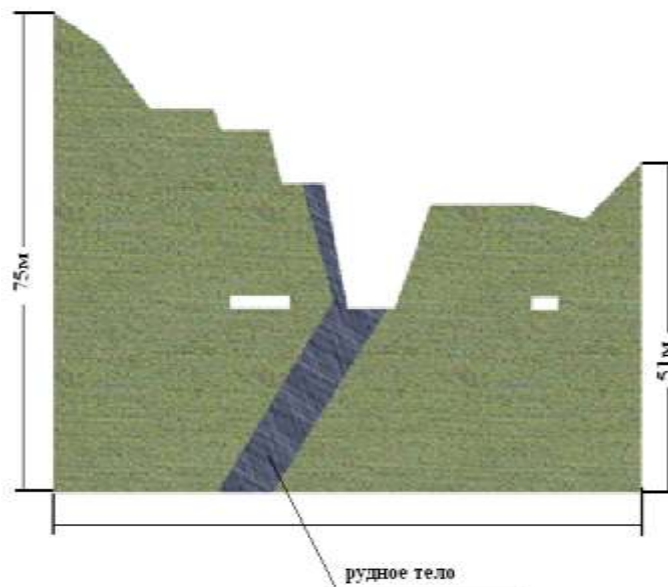
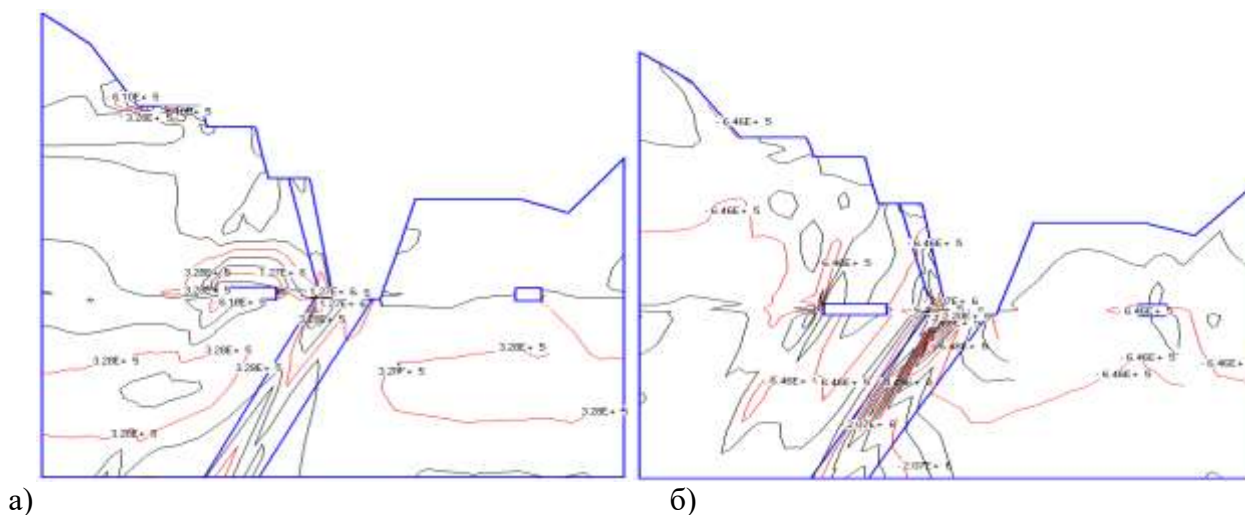


Рис. 3. Проекция на вертикальную плоскость рудного тела 10-ю месторождения Тереккан, профиль XIII.

В данном случае концентрация вертикальных напряжений возникает в пределах рудной залежи со стороны висячего бока (рис.4).



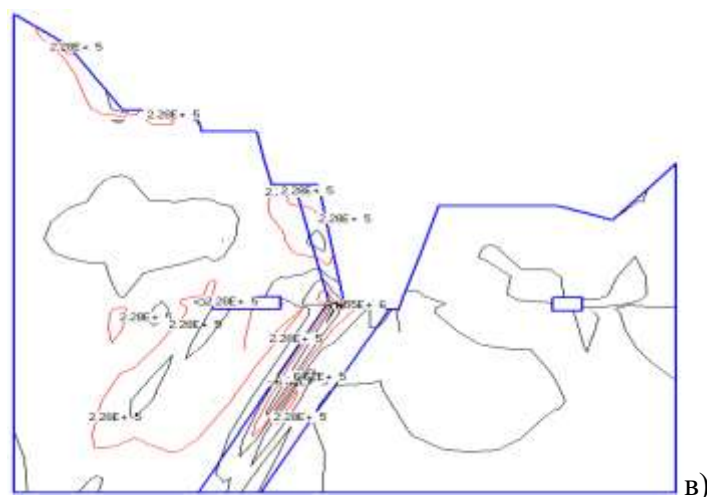


Рис. 4. Распределение а) горизонтальных, б) вертикальных, в) касательных напряжений по разрезу XIII.

Концентрация горизонтальных напряжений возникает на месте пересечения левого борта и дна карьера, такая же концентрация наблюдается вокруг выработки расположенной в левом борту со стороны висячего бока. Горизонтальные растягивающие напряжения наблюдаются над выработкой висячего бока и равняются от 1,86МПа до 0,825МПа. Под дном карьера также наблюдаются горизонтальные напряжения растягивающего характера. Это зона распространяется по рудному телу до глубины, равной  $(2,46-2,60)N_0$ . Значения напряжений в этой зоне меняются от 1,20МПа до 0,561МПа.

Таким образом, расчеты напряженного состояния Терекканского месторождения показывают, что горизонтальные напряжения концентрируются в пределах рудного тела в местах пересечения лежачего бока залежи с дном карьера, а также на месте пересечения дна карьера и левого борта (по разрезу XII-XII).

Наибольшие значения вертикальных и горизонтальных напряжений наблюдается в пределах рудной залежи на глубине, равной 0,5 ширины дна карьера.

Зона повышенных растягивающих напряжений возникает на месте пересечения дна и высокого борта карьера. Эта зона распространяется по рудному телу до глубины, равной  $(0,4-0,5)N_0$  (по разрезу XII-XII), и до глубины, равной  $(2,46-2,60)N_0$  (по разрезу XIII-XIII).

#### Литература:

1. Айтматов И.Т. Проблемы техногенной геодинамики недр в горных регионах. Труды Межд.научной конференции «Напряженное состояние породного массива и наведенная геодинамика недр». ИФиМГП НАН КР, -Бишкек, 2006. -С.13-30.
2. Алибаев А.П. Геомеханика и технология при комбинированной разработке рудных месторождений. Бишкек: «Инсанат», 2008. -192 с.
3. Казикаев Д.М. Комбинированная разработка рудных месторождений, -М: Горная книга. 2008. -360 с.
4. Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В. Комбинированная разработка рудных месторождений. -М.: Горная книга, 2012. -344 с.
5. Кожоголов К.Ч., Усенов К.Ж., Алибаев А.П. Геомеханические основы и технология при комбинированной разработке крутопадающих месторождений. - Бишкек, КГ-МИ, 1999,-186 с.
6. Осмонова Н.Т Оценка напряженно-деформированного состояния массива горных пород при отработке подкарьерных запасов месторождения Тереккан. //Известия ВУЗов, -Бишкек, 2012, №5, С.41-44.