

**ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО  
СОСТОЯНИЯ ПОРОД В ОКРЕСТНОСТИ КАРЬЕРА ПРИ ВЫЕМКЕ  
ЗАПАСОВ ПОЛЕЗНОГО ИСКОПАЕМОГО КОМБИНИРОВАННЫМ  
СПОСОБОМ**

*Маматова Гульшайр Тыныбековна, к.т.н., доцент, ЖАГУ, Кыргызстан, 715600, г.Джалал-Абад, ул.Ленина 57, Тел: 03722-2-09-28, e-mail: [gulshair\\_mam@mail.ru](mailto:gulshair_mam@mail.ru)*

*Алибаев Атабек Пахырович, д.т.н., профессор, ЖАГУ, Кыргызстан, 715600, г.Джалал-Абад, ул.Ленина 57, Тел: 03722-5-04-55, e-mail: [alibaev68@mail.ru](mailto:alibaev68@mail.ru)*

*Усенов Кенешбек Жумабекович, ЖАГУ, Кыргызстан, 715600, г.Джалал-Абад, ул.Ленина 57, Тел: 03722-5-00-22, e-mail: [usenov@rambler.ru](mailto:usenov@rambler.ru)*

**Аннотация:** В статье изложены результаты исследования напряженно-деформированного состояния пород в окрестности карьера при выемке запасов полезного ископаемого комбинированным способом. При комбинированной разработке рудных месторождений проведение в борту карьера горных выработок изменяет первоначальное напряженное состояние массива. Для исследования и оценки напряженно-деформированного состояния прибортового массива и дна карьеров рассматриваются и сравниваются напряженное состояние массива пород при различных условиях ведения горных работ. Для моделирования напряженного состояния породного массива прибортовой зоны неоднородного сложения использованы программные обеспечения «Геомеханика» и «Stress». Моделирование при этом выполнялось методом конечных элементов.

Извлечение прибортовых запасов открытыми камерами приводит к увеличению горизонтальных растягивающих и касательных напряжений между висячим боком рудного массива и стенами выработанного пространства, которое может привести к потере устойчивости подрабатываемого борта.

Установленные закономерности изменения напряженного состояния массива пород прибортовой зоны и дна карьеров позволяют судить о геомеханическом состоянии массива пород и могут быть использованы для оценки устойчивости рассматриваемого участка массива и создания новых способов выемки запасов прибортовой зоны при комбинированной разработке рудных месторождений.

**Ключевые слова:** Массив, дно карьера, запасы, ярус, прибортовая зона, выемка, комбинированный способ, напряженно-деформированное состояние, месторождение

**INVESTIGATION OF THE STRESS-DEFORMED STATE OF THE VICINITY OF  
THE QUARRY WHILE RECYCLING RESERVES OF MINERAL RESOURCES USED BY  
A COMBINED METHOD**

*Mamatova Gulshair Tynybekovna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, JASU, Kyrgyzstan, 715600, Jalal-Abad, Lenina 57, Tel: 03722-2-09-28, e-mail: [gulshair\\_mam@mail.ru](mailto:gulshair_mam@mail.ru)*

*Alibaev Atabek Pahirovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, JASU, Kyrgyzstan, 715600, Dzhahal-Abad, Lenina 57, Tel: 03722-5-04-55, e-mail: [alibaev68@mail.ru](mailto:alibaev68@mail.ru)*

*Usenov Keneshbek Zhumabekovich, JASU, Kyrgyzstan, 715600, Jalal-Abad, Lenina 57, Tel: 03722-5-00-22, e-mail: [usenov@rambler.ru](mailto:usenov@rambler.ru)*

**Abstract:** The article presents the results of the investigation of the stress-strain state of rocks in the vicinity of a quarry during the extraction of mineral reserves in a combined method. With the combined development of ore fields, carrying out mining excavations in the quarry alters

the initial stressed state of the massif. To study and evaluate the stress-strain state of the instrument massif and the bottom of quarries, the stress state of the rock massif under different mining conditions is considered and compared. To simulate the stress state of the rock massif of the instrumental zone of inhomogeneous addition, the software "Geomechanics" and "Stress" were used. The simulation was carried out by the finite element method.

Removing inventory stocks with open chambers leads to an increase in the horizontal tensile and tangential stresses between the hanging edge of the ore massif and the walls of the worked out space, which can lead to a loss of stability of the running side.

The established patterns of changes in the stress state of the rock massif of the cadastral zone and the bottom of the quarries make it possible to judge the geomechanical state of the rock massif and can be used to assess the stability of the considered area of the massif and to create new methods for excavating the reserves of the cadastral zone in the combined development of ore fields.

**Key words:** Massif, bottom of quarry, reserves, level, instrument zone, excavation, combined method, stress-strain state, field

Многие рудные месторождения нашей республики расположены в труднодоступных горных районах, рудные тела имеют сложные формы и распространяются на значительную глубину. В этих условиях многие из этих месторождений будут отработаны комбинированным способом.

При комбинированной разработке рудных месторождений проведение в борту карьера горных выработок изменяет первоначальное напряженное состояние массива. Ведение горных работ приводит к появлению повышенных сжимающих напряжений в одних частях массива, происходит концентрация напряжений, а в других частях массива могут появиться растягивающие напряжения [3].

Для исследования и оценки напряженно-деформированного состояния прибортового массива и дна карьеров рассматриваются и сравниваются напряженное состояние массива пород при различных условиях ведения горных работ.

Для моделирования напряженного состояния породного массива прибортовой зоны неоднородного сложения нами использованы программные обеспечения «Геомеханика» и «Stress». Моделирование при этом выполнялось методом конечных элементов [10]. Карьер расположен в косогорье. Высота правого борта составляет 71 м, а левого борта 107 м. Ширина дна карьера равняется 30 м, угол падения рудного тела 30 град. Мощность руды равна 40 м (рис. 1). Угол наклона борта карьера 41 град. Физико-механические свойства руды: модуль Юнга  $3,0 \cdot 10^4$  МПа, коэффициент Пуассона 0,25, объемный вес  $27100 \text{ Н/м}^3$ , сцепление 32,5 МПа, угол внутреннего трения 50 град. Физико-механические свойства породы: модуль Юнга  $3,5 \cdot 10^4$  МПа, коэффициент Пуассона 0,23, объемный вес  $269000 \text{ Н/м}^3$ , сцепление 12,5 МПа, угол внутреннего трения 40 град. [9]

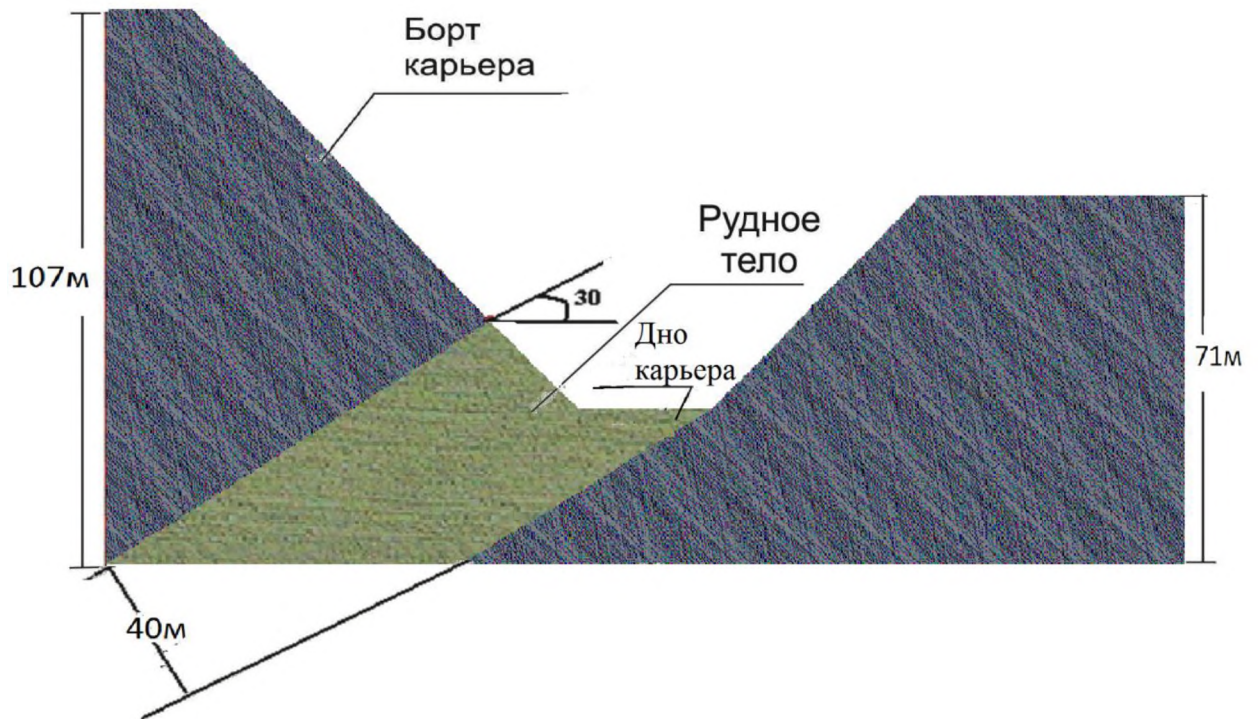


Рис. 1. Неоднородный массив до начала подземных работ

До начала подземных горных работ наибольшая концентрация наблюдается в пределах рудной зоны на уровне дна и ниже уровня на глубине от дна, равной  $1/2N_d$  (где  $N_d$  - ширина дна карьера). Концентрация наблюдается и в правом низком борту на уровне дна карьера. Ширина этой зоны концентрации равняется  $0,7N_d$ . [7]

Распределение горизонтальных напряжений показывает, что в массиве существуют сжимающие и растягивающие напряжения (рис.2). Под дном карьера и в правом борту до высоты от дна карьера, равной  $0,16N_d$  возникает зона растягивающих горизонтальных напряжений. По глубине эта зона распространяется до глубины, равной  $0,5N_d$ . Значения растягивающих горизонтальных напряжений в этой зоне меняются от  $0,268\text{МПа}$  до  $0,046\text{МПа}$ . Под обоими бортами на уровне дна образуются зоны растягивающих горизонтальных напряжений. Под левым бортом зона растягивающих напряжений возникает вдоль линии границ рудной зоны и породы. Нижняя граница этой зоны проходит по рудному телу и находится на высоте от дна, равной  $0,26N_d$ , а верхняя - на высоте, равной  $0,73N_d$ . По мере углубления эта зона постепенно расширяется. Значения растягивающих напряжений в этой зоне меняются от  $1,200\text{МПа}$  до  $0,156\text{МПа}$ . Выше этой зоны преобладают сжимающие горизонтальные напряжения и на высоте  $2,5N_d$  возникают наибольшие их значения, равные  $1,400\text{МПа}$ .

В правом борту максимальные значения растягивающих напряжений образуются на уровне дна, при удалении вглубь массива по горизонтали на расстояние, равное  $0,86N_d$ . Здесь его значение составляет  $0,545\text{МПа}$ . В этом борту выше уровня дна в приповерхностной части борта возникает зона повышенных горизонтальных сжимающих напряжений. Эта зона распространяется до высоты, равной  $0,83N_d$ . Напряжения здесь меняются от  $0,314\text{МПа}$  до  $1,130\text{МПа}$ .

Вертикальные напряжения до проведения выработок концентрируются в нижней части дна в пределах рудного тела, начиная с глубины, равной  $0,26N_d$ . Значения вертикальных сжимающих напряжений здесь равны от  $7,690\text{МПа}$  до  $4,400\text{МПа}$  (рис.2).

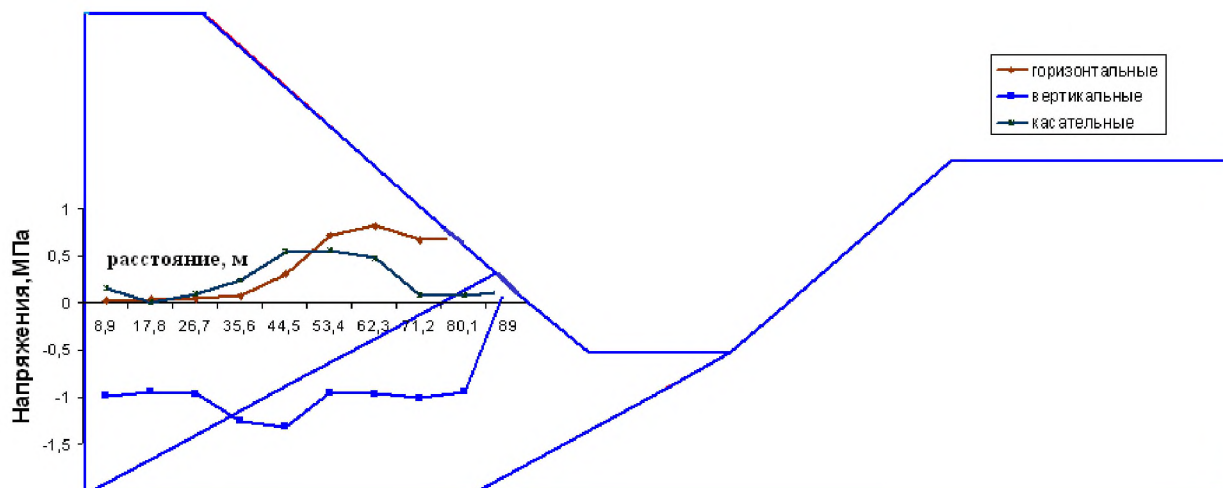


Рис.2. Распределения напряжений в прибортовом массиве до начала подземных работ

Максимальные значения касательных напряжений в данном случае возникают в левом борту на уровне дна и при удалении вглубь массива по горизонтали на расстояние, равное  $0,9N_d$ . Значение равняется  $1,130\text{МПа}$ . Сравнительно большие значения касательных напряжений наблюдаются и в левой прибортовой зоне, начиная от высоты  $0,76N_d$  до высоты  $1,6N_d$ . Значения напряжений в этой зоне меняются от  $0,985\text{МПа}$  до  $0,552\text{МПа}$  [2].

Для отбойки прибортовых запасов на высоте  $0,23N_d$  (где  $N_d$  — ширина дна карьера) проходится горизонтальные горные выработки, количество которых зависит от мощности запасов прибортовой зоны.

После полной выемки запасов верхнего яруса для обеспечения устойчивости борта карьера выработанное пространство заполняется обрушенными породами и забалансовой рудой из внутрикарьерного отвала. [4]

В данном случае концентрация горизонтальных напряжений наблюдается вокруг выработок. Зона концентрации этих напряжений распространяется вниз по рудному телу. На месте пересечения рудного тела и выработанного пространства (над крайней выработкой нижнего яруса) возникают наибольшие значения горизонтальных растягивающих напряжений. Их значения колеблется  $5,560\text{МПа}$  до  $2,930\text{МПа}$  (рис.3). На высоком левом борту, на уровне дна по-прежнему существует зона растягивающих напряжений, значения которых меняется от  $0,360\text{МПа}$  до  $1,300\text{МПа}$ . [5]

Концентрация вертикальных напряжений наблюдается вокруг выработок и в пределах рудной зоны. Над выработками наименьшая концентрация происходит над крайней выработкой, которая испытывает вес вышележащей толщи. Между выработками наибольшее значение вертикальных напряжений наблюдается между крайними выработками. Здесь значения этих напряжений меняются от  $4,600\text{МПа}$  до  $2,500\text{МПа}$  (рис.3).

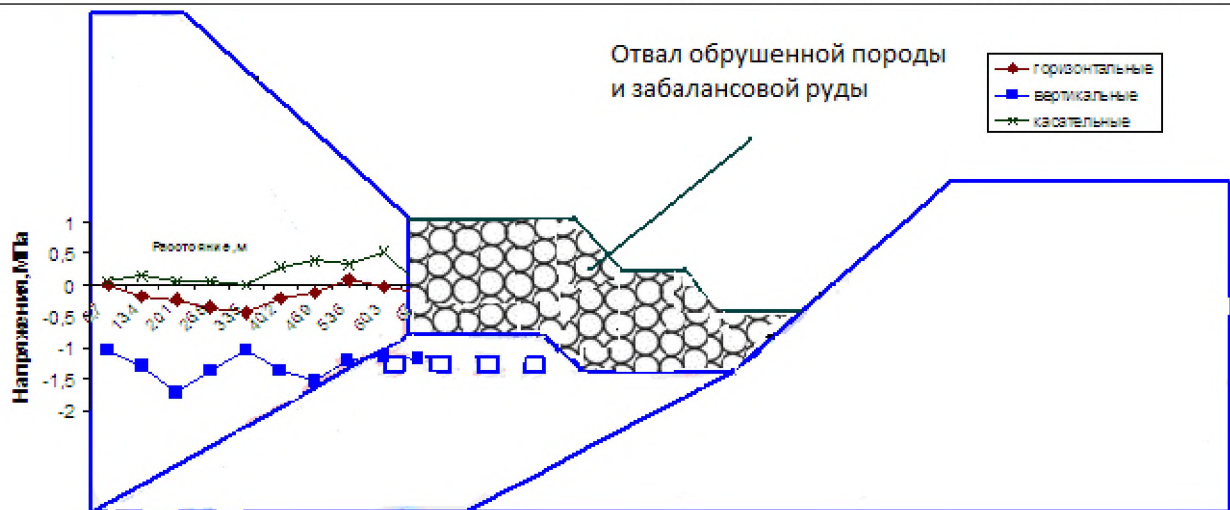


Рис.3. Распределение напряжений в прибортовом массиве при выемке запасов двух камер

После выемки запасов камеры расположенной первой от борта карьера концентрация горизонтальных напряжений возникает вокруг выработок. Ширина зоны концентрации равняется половине ширины рудного тела и простирается вниз по рудной зоне. [6]

В зоне растягивающих напряжений, расположенных на месте пересечения рудного тела и вертикальной стенки выработанного пространства их значения равны от 2,790МПа до 4,260МПа. Такая зона возникает и между первой и второй выработками на высоте от уровня кровли, равной  $0,42n_b$  (где  $n_b$  - ширина выработки). Здесь растягивающие напряжения составляют от 9,250МПа до 4,310МПа (рис.4).

До начала горных работ во втором ярусе напряжения в этой точке составляло 0,191МПа, т.е. после начала выемки первой камеры второго яруса напряжение увеличилось в 48 раза.

Выше этой зоны появляется зона повышенных сжимающих напряжений со значениями от 4,280МПа до 3,860МПа.

До начала выемки запасов второго яруса напряжения здесь составляло 0,333МПа. В данном случае увеличение значений сжимающих горизонтальных напряжений составляло более 10 раз.

Вертикальные напряжения концентрируются вокруг выработок. Зона концентрации вертикальных напряжений простирается вниз по рудной зоне. Ширина этой зоны концентрации равняется  $1/2m_p$  (где  $m_p$  - мощность рудного тела). Наибольшие значения вертикальных напряжений по-прежнему наблюдаются между двумя крайними выработками. Здесь они равны от 4,550МПа до 3,220МПа (рис.4).

Касательные напряжения в данном случае концентрируются вокруг выработки.

После выемки первой камеры нижнего яруса наибольшие значения максимальных касательных напряжений возникают между первой и второй выработками, на высоте от кровли выработки, равной  $0,62n_b$  (где  $n_b$  - ширина выработки). Напряжения здесь равны 7,360МПа. В этой точке до выемки первой камеры напряжение равнялось 0,185МПа, т.е. увеличение составляло почти в 40 раз.

После выемки запасов следующей, т.е. второй от борта карьера камеры концентрация горизонтальных напряжений по-прежнему происходит вокруг выработок. [2] При этом в данном случае под дном карьера, начиная со стороны правого более низкого борта, возникает зона концентрации растягивающих напряжений. Ширина этой зоны концентрации равняется  $1/2m_p$ , а глубина равняется  $0,23N_d$ . Напряжения здесь меняются от 1,670МПа до 0,014МПа. Ниже этой зоны возникают сжимающие горизонтальные напряжения. Вокруг выработок чередуются зоны сжимающих и растягивающих горизонтальных напряжений.

Концентрация вертикальных напряжений происходит вокруг выработок. Их значения составляют от 2,100МПа до 0,945МПа.

Максимальные касательные напряжения концентрируются вокруг выработок и на дне карьера. Наибольшие значения максимальных касательных напряжений при этом возникает между отработанным пространством и первой выработкой. Здесь эти напряжения равны 3,120МПа. Над второй выработкой то же наблюдается зона максимальных касательных напряжений, сравнительно незначительными значениями. Касательные напряжения равняются от 2,040МПа до 1,710МПа.

После полной выемки всех запасов нижнего яруса, т.е. после полной выемки всех запасов прибортовой зоны концентрация горизонтальных напряжений наблюдается в висячем боку рудного тела, при этом ширина зоны концентрации занимает половины мощности рудного тела. [8]



Рис.4. Распределение напряжений в прибортовом массиве после полной выемки запасов прибортовой зоны

Растягивающие напряжения возникают в левом борту на месте пересечения подошвы выработанного пространства и границы рудной зоны. Ширина этой зоны равняется 0,16м<sub>р</sub>. По глубине она простирается до 0,17м<sub>р</sub>. Растягивающие напряжения в этой зоне меняются от 3,180МПа до 0,667МПа. После выемки всех прибортовых запасов вертикальные напряжения концентрируются в пределах рудного тела в верхней половине висячего бока. Ширина зоны концентрации занимает половины мощности рудного тела. [6]

Наибольшие значения максимальных касательных напряжений возникают в местах пересечения границы висячего бока рудного тела и подошвы выработанного пространства. Здесь напряжения меняются от 3,580МПа до 1,850МПа. В середине рудного тела наблюдается полоса, параллельная рудному телу, где значения максимальных касательных напряжений колеблется от 4,150МПа до 1,500МПа.

Таким образом, эти закономерности изменения напряженного состояния массива пород прибортовой зоны и дна карьеров позволяют судить о геомеханическом состоянии массива пород и могут быть использованы для оценки устойчивости рассматриваемого участка массива и создания новых способов выемки запасов прибортовой зоны при комбинированной разработке рудных месторождений.

Известно, что устойчивость откосов в скальных трещиноватых породах зависит от структуры массива (наличие тектонических нарушений, слоистости, трещин, различно ориентированных по отношению к откосам) и сопротивления сдвигу и отрыву пород по этим

поверхностям ослаблений. При неблагоприятном ориентировании трещин (падение в сторону выемки, сопряжение их в уступе и др.) возможны деформации отдельных участков уступов. [1]

Через вычисленные значения напряжений можно определить коэффициент запаса устойчивости по соответствующей формуле

$$K = \frac{\sum (C + \sigma_n \operatorname{tg} \varphi) \Delta l}{\sum \tau \Delta l}$$

где  $\sigma_n$ ,  $\tau$  - соответственно нормальные и касательные напряжения в середине отрезка,  $\varphi$  - угол внутреннего трения,  $C$  - сцепление,  $\Delta l$  - длина отрезка.

#### Выводы:

1. Установлено, что после полной выемки всех запасов нижнего яруса, т.е. после полной выемки всех запасов прибортовой зоны концентрация горизонтальных напряжений наблюдается в висячем боку рудного тела, при этом ширина зоны концентрации занимает половины мощности рудного тела. Растягивающие напряжения возникают в левом борту на месте пересечения подошвы выработанного пространства и границы рудной зоны. Ширина этой зоны равняется  $0,16m_p$ , которая по глубине простирается до  $0,17m_p$ .

2. Извлечение прибортовых запасов открытыми камерами приводит к увеличению горизонтальных растягивающих и касательных напряжений между висячим боком рудного массива и стенами выработанного пространства, которое может привести к потере устойчивости подрабатываемого борта.

3. Установленные закономерности изменения напряженного состояния массива пород прибортовой зоны и дна карьеров позволяют судить о геомеханическом состоянии массива пород и могут быть использованы для создания новых способов выемки запасов прибортовой зоны при комбинированной разработке рудных месторождений.

#### Список литературы:

1. Алибаев А.П. Геомеханика и технологии при комбинированной разработке рудных месторождений/ А.П.Алибаев.- Бишкек: Инсанат, 2008.-192с.
2. Алибаев А.П. Отработка запасов законтурных рудных тел в условиях открыто-подземного способа разработки /А.П.Алибаев, Г.Т.Маматова, К.Ж.Усенов // Известия ВУЗов - Бишкек, 2012.- №6.- С.51-53.
3. Кожоголов К.Ч. Развитие геотехнологий при комбинированной разработке нагорных рудных месторождений/ К.Ч.Кожоголов, А.П.Алибаев, К.Ж.Усенов.- Бишкек-Жалал-бат, 2008.- 189с.
4. Маматова Г.Т. Исследование напряженно-деформированного состояния прибортового массива и дна карьера при проведении в борту карьера горизонтальных горных выработок/ Г.Т.Маматова, А.П.Алибаев, А.Р.Такеева// Известия ОшТУ: сб.науч.тр.- Ош, 2012.-№1.- С.66-70.
5. Маматова Г.Т. Исследование напряженно-деформированного состояния прибортового массива и дна карьера при выемке прибортовых запасов комбинированным способом/ Г.Т.Маматова// Известия ВУЗов: сб.науч.тр.- Бишкек, 2012.-№6.- С.21-23.
6. Маматова Г.Т. Оценка напряженно-деформированного состояния массива горных пород при комбинированной отработке наклонных рудных тел/Г.Т.Маматова, А.П.Алибаев, К.Ж.Усенов// Известия ОшТУ: сб.науч.тр.- Ош, 2012.-№1.- С.74-77.
7. Маматова Г.Т. Оценка напряженно-деформированного состояния массива пород и дна карьера при комбинированной разработке прибортовых запасов/ Г.Т.Маматова// Наука и новые технологии: сб.науч.тр.-Бишкек, 2012. .-№4- С.21-26.

## **Известия КГТУ им. И.Раззакова 46/2018**

---

8. Маматова Г.Т. Оценка напряженно-деформированного состояния прибортового массива пород и дна карьера при комбинированной разработке рудных тел/ Г.Т.Маматова// Наука и новые технологии: сб.науч.тр.-Бишкек, 2012.-№4.- С.64-67.

9. Терметчиков М.Н. Физико-механические свойства горных пород месторождений Киргизии и их корреляционный анализ / М.Н.Терметчиков.- Фрунзе: Илим, 1979.- 136с.

10. Фадеев А.Б. Метод конечных элементов в геомеханике / А.Б.Фадеев – М.: Недра, 1987. – 221с.