

2021-28

W

**Национальная академия наук Кыргызской Республики
Институт геомеханики и освоения недр
Министерство образования и науки Кыргызской Республики
Жалал-Абадский государственный университет**

Диссертационный совет Д 25.19.587

**На правах рукописи
УДК 622.7.09 (575.2) (043.0)**

Куваков Сталбек Женишбекович

**Моделирование напряженного состояния подкарьерных целиков
при комбинированной разработке месторождений
(на примере Макмальского рудника)**

**Специальность: 25.00.20 - геомеханика, разрушение пород взрывом,
рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика**

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Бишкек - 2019

Работа выполнена в лаборатории «Управление геомеханическими процессами» Института геомеханики и освоения недр Национальной академии наук Кыргызской Республики.

Научный руководитель: Кожогулов Камчибек Чонмурунович доктор технических наук, профессор, член-корреспондент НАН КР, директор Института геомеханики и освоения недр НАН КР.

Официальные оппоненты: Баймахан Рысбек Баймаханулы доктор технических наук, профессор, кафедры «Информатики и прикладной математики» Казахского государственного женского педагогического университета (Республика Казахстан),

Абдиев Арстанбек Раимбекович кандидат технических наук, доцент, Президент Ассоциации организаций по разведке и добыче угля «Комурчү».

Ведущая организация: Кыргызско-Российский Славянский университет им. Б. Ельцина, 720000, г. Бишкек, ул. Киевская, 44.

Защита состоится «28» июня 2019 г. в 14:00 часов на заседании диссертационного совета Д 25.19.587 при Институте геомеханики и освоения недр НАН КР и Жалал-Абадском государственном университете, по адресу: 720055, г. Бишкек, ул. Медерова, 98.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института геомеханики и освоения недр Национальной академии наук Кыргызской Республики, по адресу: 720055, г. Бишкек, ул. Медерова, 98 и на сайте института www.igion.megaline.kg

Ученый секретарь
диссертационного совета,
к.ф.-м.н., доцент

Исаева Г.С.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. Горнодобывающая отрасль является одним из приоритетных направлений развития экономики Кыргызской Республики. Всего в республике выявлен значительный минерально-сырьевой потенциал по различным разновидностям рудных металлов. Ведущими для нее являются золото, ртуть, сурьма, олово, вольфрам, редкие земли, уран, полиметаллы. Есть возможность в будущем организации добычи железа, титана, ванадия, алюминия, меди, молибдена, бериллия. Не исключена промышленная значимость висмута, серебра, тантала, ниобия, кобальта и других металлов.

В последнее время в республике наблюдается рост числа горнодобывающих предприятий, предусматривающих использование комбинированного способа выемки запасов. К месторождениям, разрабатываемые комбинированным способом можно отнести рудники «Чаарат», «Макмалзолото», которые нуждаются в решениях научных проблем. Такие месторождения как Кумтор и Джеруй в перспективе планируют переход на комбинированный способ отработки запасов. Например, в руднике Кумтор в 2002 году произошло масштабное обрушение целого борта карьера объемом $\approx 2,7$ млн.м³. Такое внезапное обрушение борта карьера академиком И. Айтматовым отнесено к горным ударам, которые проявляются по мере углубления карьера. Подобно вышеуказанной проблеме, на руднике «Макмал» возникли обрушения потолочин камер и подкарьерные целики теряли свою устойчивость в штольнях № 6 и № 11. Так как проблема повышения эффективности и безопасности разработки рудных месторождений занимает важное место в развитии горнодобывающей промышленности, то необходимо обеспечить их научно обоснованными прогнозами. И для этого, как правило, необходимо изучать как естественное, так и техногенное напряженно-деформированное состояние массива горных пород, принимая во внимания, всевозможные влияющие на него факторы.

Золоторудное месторождение «Макмал» является одним из первых золотодобывающих предприятий Кыргызской Республики, которое начало функционировать в 1986 году. К 2000-му году годовое производство золота в Кыргызстане достигло 20 т., что вывело республику по этому показателю 3-е место в СНГ после России и Узбекистана. До 2003 года месторождение «Макмал» отрабатывалось открытым способом, а после была начата добыча подземных запасов с одновременной переработкой, складированной забалансовой руды, тем самым переходя на комбинированный способ разработки (переход от открытого способа разработки на подземную). А при комбинированной разработке на первый план выдвигается обоснование устойчивости подкарьерных целиков, которая в значительной степени зависит от напряженного состояния. Поэтому диссертационная работа, посвященная моделированию напряженного состояния подкарьерных запасов, является актуальной.

Связь темы диссертации с основными научно-исследовательскими работами. Диссертация выполнена в соответствии с планом научно-исследовательских работ Института геомеханики и освоения недр Национальной академии наук Кыргызской Республики по проектам «Разработка методики

оценки устойчивости блочных массивов бортов нагорных карьеров горноскладчатых областей» (№ гос. Регистрации: 0007149, 2015-2017 г.)

Целью диссертационной работы является оценка напряженного состояния подкарьерных целиков при комбинированной разработке месторождений.

Для достижения цели предусмотрены решения следующих задач:

1. Определить физико-механические свойства и анизотропию упругих свойств, слагающих горных пород месторождения «Макмал»;
2. Обосновать применение метода математического моделирования напряженного состояния массива месторождения «Макмал»;
3. Оценить напряженное состояние массива горных пород при разных стадиях разработки месторождения «Макмал»;
4. Моделировать численным методом напряженное состояние подкарьерных целиков при комбинированной разработке месторождения «Макмал».

Научная новизна полученных результатов заключается в следующем:

1. Обоснована методика оценки напряженно-деформированного состояния массива горных пород при комбинированной разработке месторождения, которая позволяет учитывать анизотропию упругих свойств горных пород;
2. Определено, что концентрация напряжений в прибортовом массиве с учетом анизотропии упругих свойств горных пород больше в 1,5 раза, чем при оценке напряженного состояния бортов карьеров изотропного массива;
3. Установлено, что при оценке напряженного состояния подкарьерных целиков с учетом анизотропии упругих свойств горных пород имеет повышенные значения сжимающих напряжений в периферийных частях в 1,27, чем при оценке напряженного состояния подкарьерных целиков в случае изотропности.

Практическая значимость полученных результатов:

1. Разработанная методика оценки напряженного состояния прибортового массива и подкарьерных целиков при комбинированной разработке месторождений позволяет учесть анизотропию упругих свойств горных пород, которая предоставляет возможность получить своевременную и оперативную информацию о напряженном состоянии;
2. Основные научные результаты исследований были использованы при составлении проекта «Проект отработки запасов в целиках штольнях №6 и №11 золоторудного месторождения «Макмал»»; отработке Южного рудного тела месторождения «Макмал» (Акт о реализации научных результатов от 22.03.2017 г.);

Экономическая значимость полученных результатов состоит в использовании результатов исследований по определению механических свойств и остаточных напряжений горных пород при составлении локальных проектов разработки Макмальского рудника, позволяющее обеспечить эффективность ведения горных работ при отработке запасов в целиках штольни №6.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

1. Установленные особенности распределения напряженного состояния однородного и неоднородного массива вокруг карьера при комбинированной разработке месторождений;

2. Выявленные закономерности распределения напряжений в прибортовом массиве и подкарьерных целиках с учетом анизотропии упругих свойств горных пород.

Личный вклад соискателя состоит:

- в анализе современных методов оценки напряженного состояния массивов горных пород;
- в разработке и обосновании методики оценки напряженного состояния массива с учетом анизотропии упругих свойств горных пород;
- в анализе результатов исследования геомеханического состояния и оценке напряженного состояния прибортового массива и подкарьерных целиков методом конечных элементов с использованием программы Plaxis;
- в оценке напряженного состояния массива месторождения «Макмал» при различных стадиях ее разработки;
- в оценке напряженного состояния массива и его изменений при учете анизотропии упругих свойств горных пород.

Апробация результатов исследования. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на Международных конференциях и симпозиумах: «Горные науки в индустриально-инновационном развитии страны» посвященной 70-летию Института горного дела им. Д.А. Кунаева (г. Алматы, ИГД им. Д.А. Кунаева РК, 10-11 сентябрь, 2015г.); «Геодинамика и напряженное состояние недр Земли» (г. Новосибирск, ИГД СО РАН РФ, 5-9 октября, 2015 г.); The Eighth Asian Young Geotechnical Engineers Conference «Challenges and Innovations In Geotechnics» (Восьмая Азиатская молодежная конференция инженеров-геотехников «Задачи и инновации в геотехнике», г. Астана, Университет Назарбаева, РК 2016 г.); Первый международный симпозиум «Прогноз и предупреждение тектонических горных ударов и землетрясений: изменение деформаций, остаточных и действующих напряжений в горных породах» (г. Бишкек, НАН КР, КРСУ, ИГиОН НАН КР, ПИЦИ 21-23 сентября 2016 г.); 5-ая международная межвузовская научно-практическая конференция молодых ученых «Инновационные технологии и передовые решения» (г. Бишкек, МУИТ 19 мая 2017 г.); Proceedings of the Second Geo-Institute-Kazakhstan Geotechnical Society Joint Workshop. – March 5-8 Orlando, New-York: 2018 у. В завершённом виде работа докладывалась на научном семинаре «Геомеханика» в Институте геомеханики и освоения недр НАН КР.

Полнота отражения результатов диссертации в публикациях. Результаты исследований и положения, отражающие основное содержание диссертационной работы опубликованы в 18 печатных работах, в том числе 1 входит в базу SCOPUS и 6 - в зарубежный РИНЦ.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав и выводов, изложенных на 158 страницах, содержит 24 рисунков, 9 таблиц, 112 наименований литературы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, определены цели и задачи, приведены основные положения диссертационной работы.

В первой главе приведен анализ современного состояния изученности напряженного состояния массива горных пород, рассмотрен вопрос о применимости существующих методов математического моделирования. Анализированы научные основы теоретических, натуральных и экспериментальных исследований, гипотезы о напряженном состоянии. Если в своих исследованиях геолог Альберт Гейм уподобил поведение пластических течений горных пород течению очень вязкой жидкости с очень маленькой скорости, то академик А.Н. Динник усовершенствовал гипотезу Гейма, введя новый параметр — коэффициент бокового распора, определяющий через коэффициент Пуассона. Также, учеными Н.Б. Хастом и И.Т. Айтматовым были определены закономерности изменения горизонтальных главных напряжений в массиве. Отражены основные методы оценки напряженного состояния массива горных пород и показали, что натуральный метод определения напряжений в массиве горных пород является более достоверным чем другие методы, но в то же время очень трудоемким. Анализированы схемы Н. Хаста и Е. Лимана для изменения напряжений в массиве и конструкция М.С. Анцыферова. Даны общие характеристики аналитическим и численным методам.

В работах В.Д. Курпадзе, Т.А. Cruse, J.C. Lachat, A.S. Henry, P.K. Banerjee, J.O. Watson, J.R. Tomlin, S.E. Massonet, Н.П. Абовского, П.М. Варвака, М.А. Колтунова, Г. Стренга, Дж. Фикса, Ж. Деклу, Л. Сегерлинда, представлены результаты исследований и разработки алгоритмов численных методов — метод граничных элементов, конечных элементов и конечных разностей. Численные методы исследований напряженного состояния массива горных пород представлены в работах Э.К. Абдылдаева, К.Ч. Кожоголова, К.Ж. Усенова, С.Ф. Усманова, А.П. Алибаева, А.П. Тапсиева, Г.Дж. Кабаевой, А.А. Неверова. Недостатками известных и широко распространенных численных методов оценки напряженно-деформированного состояния массива горных пород являются разбиение на элементы, которые производится с учетом геометрических особенностей области и, сам процесс разбиения начинается от границы с целью наилучшей аппроксимации её геометрии, а затем разбивают на элементы внутренние области, причем алгоритм разбиения строится так чтобы элементы удовлетворяли некоторым ограничениям, например стороны треугольников должны быть равносторонними и т.д., также высокая размерность результирующей системы алгебраических уравнений.

Проведен анализ основных факторов, влияющих на напряженно-деформированное состояние подкарьерных целиков, к которым относятся рельеф поверхности месторождения, различные физико-механические свойства горных пород на соответствующих глубинах, естественное напряженное состояние массива, геометрические параметры бортов карьера и т.д.

На основе анализа существующих натуральных, аналитических и численных методов оценки напряженного состояния бортирового массива горных пород и подкарьерных целиков показано, что из всех методов, наиболее подходящим по информативности, оперативности и точности является численный метод — метод конечных элементов, основанный на аппроксимации дискретной моделью, которая строится на множестве кусочно-непрерывных линейных и квадратичных функций, определенных на конечном числе подобластей.

Во второй главе приведена структура и последовательные шаги реализации метода конечных элементов при моделировании напряженного состояния массива горных пород от дискретизации и выбора типа элементов до уравнений с учетом граничных элементов, описывающие напряженно-деформированное состояние массива горных пород. Проанализирована структура программы Plaxis и ее подразделения по назначению, позволяющая автоматизировать решения задач, в основе которой лежит метод конечных элементов. На основе анализа выявлено, что программа состоит из четырех подпрограмм Input, Calculation, Output, Curves и имеет возможность решать следующие задачи: оценка устойчивости грунтового сооружения и основания; расчет осадки насыпей на слабых основаниях; оценка напряженно-деформированного состояния массива горных пород; расчет геотехнических сооружений различного назначения; усиление грунтовых сооружений и их оснований; оценка совместной работы насыпей и подземных сооружений; расчеты трасс на подрабатываемых территориях и в зонах затопления; проходка транспортных тоннелей; проектирование специальных сооружений и мостовых опор.

Третья глава посвящена анализу геологического строения массива месторождения «Макмал»; исследованию и определению физико-механических свойств горных пород; математическому моделированию напряженного состояния массива месторождения «Макмал» однородного и неоднородного сложения; моделированию напряженного состояния прибортового массива месторождения «Макмал» неоднородного сложения с учетом анизотропии упругих свойств горных пород. На основе анализа геологического строения месторождения «Макмал», выявлено, что сложен известняками, в значительной части интенсивно скарнированными и мраморизованными, гранитами Чаарташской интрузии, метасоматитами. По тектоническим характеристикам, описываемый район принадлежит Кавакской структурно-формационной зоне. Характеризуется сложным покровно-складчатым строением, которое обусловлено, в основном, движениями эпох герцинского и альпийского тектогенеза. Отражены результаты определения основных физико-механических свойств горных пород в образцах I — Карбонатные породы скарнированные известняки полевошпат кварцевые метасоматиты, II — Окварцованные известняки мраморизованные известняки, измененные карбонатные породы (табл.1)

Таблица 1. Основные физико-механических свойств горных пород месторождения «Макмал»

№ проб	Название породы	Интеграл отбора	Объемный вес γ , кг/м ³	Удельный вес γ_0 , кг/м ³	Пористость П, %	В воздушно-сухом состоянии				В водонасыщенном состоянии			
						Предел прочности при растяжении σ_p , МПа	Предел прочности при сжатии $\sigma_{сж}$, МПа	Угол внутреннего трения ϕ , град	Сцепление С, МПа	Предел прочности при растяжении σ_p , МПа	Предел прочности при сжатии $\sigma_{сж}$, МПа	Угол внутреннего трения ϕ , град	Сцепление С, МПа
1	I	1,00-2,50	2496,86	2765,13	9,70	2,48	52,08	64	5,98	0,78	16,38	63	2,02
2		24,00-25,00	2544,38	2806,08	9,22	1,97	41,37	64	4,6	1,12	23,56	63	2,61
3		10,00-11,50	2549,48	2905,86	12,09	3,76	78,96	64	8,74	2,59	54,51	64	6,10
4		4,00-6,00	2757,94	2861,55	3,61	2,34	49,22	64	5,45	1,48	31,12	64	3,42
5	II	6,00-7,50	2634,40	3138,34	15,97	1,50	31,70	64	3,55	1,30	27,60	64	3,24
6		10,00-11,00	2494,87	2754,75	9,34	2,40	50,40	65	5,48	1,66	35,00	64	4,02
7		11,00-12,50	2472,73	2869,92	13,85	3,40	71,42	63	7,49	2,22	46,62	64	5,20
8		15,00-16,00	2428,81	2909,03	16,47	3,50	73,50	65	8,10	2,25	47,21	64	5,29

В результате анализа полученных данных выявлено, что среднее значение объемного веса для карбонатных пород скарнированных известняков составляет $\gamma=2587,16 \text{ кг/м}^3$, удельный вес в среднем составляет $\gamma_0=2834,65 \text{ кг/м}^3$, для окварцованных и мраморизованных известняков объемный вес имеет среднее значение $\gamma=2507,71 \text{ кг/м}^3$, а удельный вес $\gamma_0=2918,01 \text{ кг/м}^3$. Отобранные карбонатные породы и окварцованные известняки имеют низкое значение водопоглощения, в среднем, который составляет $W=1,41\%$. При определении прочностных характеристик пород, были проведены лабораторные анализы пород, как в воздушно-сухом, так и в водонасыщенном состоянии. В воздушно-сухом состоянии значение предела прочности пород при сжатии изменяется в пределах от $\sigma_{сж}=41 \text{ МПа}$ до $\sigma_{сж}=79 \text{ МПа}$, а для окварцованных известняков минимальное значение составляет $\sigma_{сж}=32 \text{ МПа}$, максимальное $\sigma_{сж}=73 \text{ МПа}$. Угол внутреннего трения для пород имеет среднее значение $\phi=64^\circ$, значение сцепление составляет $C=3,55-8,74 \text{ МПа}$.

Также отражены результаты исследований по определению анизотропии упругих свойств горных пород с использованием ультразвукового аппарата УК-10ПМ на образцах изготовленной кубической формы (табл.2).

Таблица 2. Экспериментальные данные скорости прохождения ультразвуковых волн через образцы горных пород по двум взаимно перпендикулярным плоскостям

Название волны и площадка		Название горной породы	высота, м	время средняя, мксек	время, ссек	скорость, м/сек
Продольная волна	1-ая площадка	Рудная брекчия	0,0820	12,10	0,0000121000	6776,860
		Мраморизированный известняк	0,0780	10,10	0,0000101000	7722,772
	2-ая площадка	Метасоматит	0,0780	10,40	0,0000104000	7500,000
		Рудная брекчия	0,0830	11,30	0,0000113000	6747,967
Поперечная волна	1-ая площадка	Мраморизированный известняк	0,0820	11,23	0,0000112300	7301,870
		Метасоматит	0,0780	11,48	0,0000114750	6797,386
	2-ая площадка	Рудная брекчия	0,0820	33,20	0,0000332000	2469,880
		Мраморизированный известняк	0,0780	29,56	0,0000295600	2638,701
		Метасоматит	0,0780	31,00	0,0000310000	2516,129
		Рудная брекчия	0,0830	34,40	0,0000344000	2412,791
2-ая площадка	Мраморизированный известняк	0,0820	32,56	0,0000325600	2518,428	
	Метасоматит	0,0780	32,10	0,0000321000	2429,907	

На основе анализа результатов определения скорости прохождения ультразвуковых волн через горные породы месторождения «Макмал», установлено, что значения скорости распространения продольной волны по площадке S1 больше чем, значения скорости распространения продольной волны по площадке S2. Например для рудной брекчин в 1,004 раза больше, мраморизированного известняка в 1,058 раза больше, метасоматита в 1,103 раза больше, т.е. разница скоростей по взаимно перпендикулярным площадкам изменяются от 28,893м/сек до 702,614м/сек. В результате расчетов упругих свойств по трем разновидностям пород, выявили что значения модуля упругости и модуля сдвига по площадке S1 больше чем, значения скорости распространения продольной волны по площадке S2. И как показали расчеты, из-за незначительных изменений акустических свойств горных пород по двум взаимно перпендикулярным площадкам, получили равные значения коэффициента Пуассона. Отметим, что при проведении экспериментов по определению физико-механических свойств отобранных горных пород, в нашем случае, коэффициенты вариации изменяются от 9% до 14%.

А основная математическая модель базируется на минимизации потенциальной энергии деформации и для узловых точек записывается в следующем виде:

$$U_r = \frac{1}{2} \sum_i \sum_j \int \sigma'_{ij}(u'_i) \epsilon'_{ij}(u'_j) dV$$

Принимая во внимание исследованные нами физико-механические свойства горных пород, проведено моделирование напряженного состояния прибортового массива в различных условиях. В случае когда прибортовой массив имеет

однородное сложение получили, что концентрация горизонтальных (по оси X) сжимающих напряжений отмечены в области контактов бортов с дном карьера, значения которых меняются от $150,63 \text{ kN/m}^2$ до $530,82 \text{ kN/m}^2$. А вертикальные напряжения распределены равномерно с изменением глубины. Значения вертикальных сжимающих напряжений изменяются от $0,34 \text{ kN/m}^2$ до $2683,45 \text{ kN/m}^2$ по направлению сверху вниз. А в случае неоднородного сложения - концентрации горизонтальных сжимающих напряжений возникают в области дна карьера, значения которых изменяются от $101,143 \text{ kN/m}^2$ до $539,8 \text{ kN/m}^2$, а вертикальные напряжения, распределены равномерно с изменением только высотной отметки, значения которых меняются до 2770 kN/m^2 . Характер распределения напряжений и область концентрации напряжений по оси Z практически такая же что и распределение напряжений по оси X, но значения сжимающих напряжений достигают до $246,82 \text{ kN/m}^2$, и, значения максимальных касательных напряжений составляют $171,72 \text{ kN/m}^2$.

В результате математического моделирования напряженного состояния прибортового массива горных пород месторождения «Макмал» с учетом анизотропии упругих свойств горных пород, выявлено, что в области правого контакта борта с дном максимальные и минимальные значения сжимающих горизонтальных напряжений равны $250,46 \text{ kN/m}^2$ и $8,54 \text{ kN/m}^2$ соответственно. А в области левого контакта максимальное и минимальное значения горизонтальных сжимающих напряжений составили $410,73$ и 4 kN/m^2 .

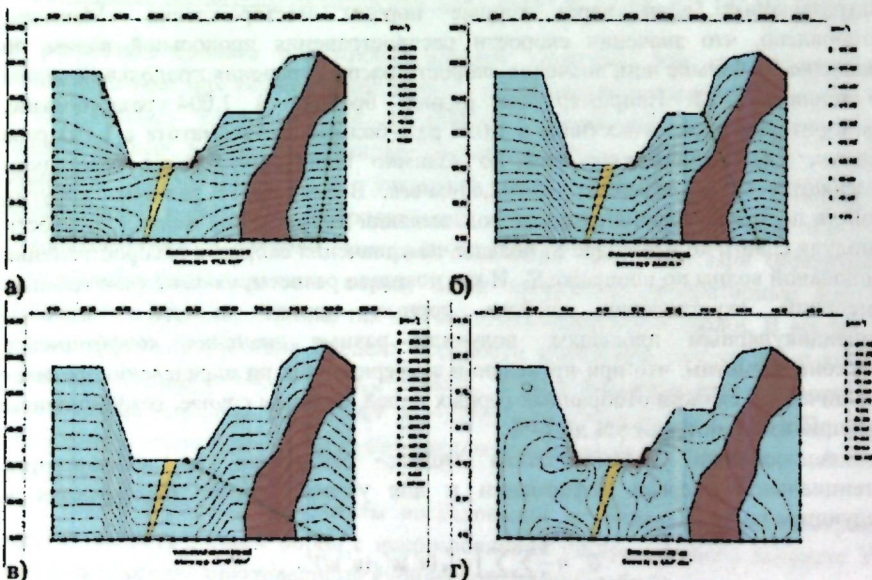


Рисунок 1. Изолинии напряжений в прибортовом массиве месторождения «Макмал»; а) распределение напряжений по оси XX; б) распределение напряжений по оси YY; в) распределение напряжений по оси ZZ; г) распределение напряжений по XY.

В рудном теле возникают горизонтальные сжимающие напряжения, значения которых меняются от $114,09$ до $200,89 \text{ kN/m}^2$ по мере углубления карьера. Концентрация горизонтальных сжимающих напряжений по оси ZZ возникли в области контакта бортов с дном карьера, значения которых меняются от $6,10$ до $148,02 \text{ kN/m}^2$. Вертикальные напряжения распределяются равномерно с изменением глубины, и значение вертикальных напряжений с высотной отметки 108 м по правому борту достигает до $2854,92 \text{ kN/m}^2$, по левому борту с высотной отметки 96 м – до $2496,90 \text{ kN/m}^2$ и вдоль дна карьера с высотной отметки 44 м – до $1229,89 \text{ kN/m}^2$. Распределение касательных напряжений показано в изолиниях на рис. 3.6-г. В левой области касательные напряжения изменяются от $16,75$ до $91,47 \text{ kN/m}^2$, а в правой – от $25,20$ до $169,39 \text{ kN/m}^2$ (рис.1).

Четвертая глава посвящена исследованию напряженного состояния бортов карьеров при комбинированной разработке месторождения и отражены результаты исследования напряженно-деформированного состояния подкарьерных целиков при комбинированной разработке месторождения «Макмал». В результате исследований установили, что небольшие концентрации напряжений зафиксированы в областях контакта бортов с дном карьера, а в окрестности выработок и целиков выявили концентрации напряжений, которые изменяются от 400 kN/m^2 до 3200 kN/m^2 . Вертикальные напряжения распределены равномерно, значения которых возрастают с глубиной, изменяясь от 350 kN/m^2 до 8700 kN/m^2 . Также получены закономерность влияния напряжений на подкарьерный целик в виде графика. Значения вертикальных напряжений в периферийных частях составили $1267,81 \text{ kN/m}^2$ до $1384,29 \text{ kN/m}^2$, когда в центральных частях установили изменения от $601,84 \text{ kN/m}^2$ до $668,55 \text{ kN/m}^2$.

На основе исследований на напряженное состояние прибортового массива с учетом анизотропии упругих свойств горных пород при комбинированной разработке месторождения «Макмал», получили, что моделируемый разрез был разделен на 645 равнобедренные 15 -ти узловые треугольные элементы, которые состоят из 5335 узловых точек и среднее расстояние между узлами (длина стороны треугольного элемента) составило $17,76 \text{ м}$. Значения горизонтальных сжимающих напряжений в области контакта бортов с дном карьера изменяются от $198,55 \text{ kN/m}^2$ до $439,71 \text{ kN/m}^2$, а вокруг выработки от $175,37 \text{ kN/m}^2$ до $4615,91 \text{ kN/m}^2$. Вертикальные напряжения распределены равномерно вдоль бортов карьера и изменяются от $277,56 \text{ kN/m}^2$ до $8339,90 \text{ kN/m}^2$. По рудному телу вертикальные напряжения распределены равномерно, но с скачкообразным сопровождением в зонах контакта рудного тела с вмещающими горными породами. От дна карьера до горизонта горного выработка, вертикальные сжимающие напряжения изменяются от $3,23 \text{ kN/m}^2$ до $936,31 \text{ kN/m}^2$.

ВЫВОДЫ

В диссертационной работе дано решение актуальной научно-технической задачи – оценка напряженно-деформированного состояния подкарьерных целиков при комбинированной разработке месторождения «Макмал».

Результаты выполненных исследований позволяют отметить следующие основные выводы:

1. Значения прочностных характеристик горных пород, определенные нами в лабораторных условиях и пересчитанные на массив с учетом коэффициента структурного ослабления, оказались меньше в 1,34 раза, чем значения прочностных свойств горных пород, определены ранее;
2. В результате исследования упругих свойств горных пород по взаимно перпендикулярным площадкам изготовленного образца в виде куба в лабораторных условиях установили, что значения модулей упругости и сдвига по площадке S1 больше в 1,45 раза чем по площадке S2;
3. Установлено, что значения вертикальных сжимающих напряжений при однородных сложениях массива в областях контакта борта с дном карьера меньше в 1,1 раза, чем значения вертикальных сжимающих напряжений при неоднородных сложениях массива;
4. Выявлено, что значения вертикальных и горизонтальных напряжений в прибортовом массиве в случае неоднородного сложения больше в 1,65 раза чем, значения вертикальных и горизонтальных напряжений в случае, когда прибортовой массив горных пород рассмотрели, как неоднородная среда с учетом анизотропии упругих свойств;
5. Установлено, что значения вертикальных напряжений в подкарьерных целиках в случае изотропии, меньше в 1,27 раза чем, значения напряжений в подкарьерных целиках с учетом анизотропии упругих свойств горных пород;
6. Основные результаты исследований внедрены на Макмальском месторождении филиала «Макмалзолото» ОАО «Кыргызалтын» (Акт внедрения научных результатов от 22.05.2017 г.).

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. Куваков, С.Ж. Оценка устойчивости склона сложного строения по напряженно-деформированному состоянию [Текст] / С.Ж. Куваков // Современные проблемы механики сплошных сред. – Бишкек, 2013. – Вып. 18. – С. 211-217.
2. Куваков, С.Ж. Оценка напряженно-деформируемого состояния склона сложного строения [Текст] / Н.А. Айткулиев, О.В. Никольская // Сборник

материалов научно-практической конференции молодых ученых Кыргызстана «Старт в большую науку». – Бишкек 2013. – С.45-47.

3. Куваков, С.Ж. Учет трещиноватости при оценке напряженно-деформируемого состояния породного блока [Текст] / С.Ж. Куваков // Современные проблемы механики сплошных сред. – Бишкек, 2014. – Вып. 19. – С. 229-237.

4. Куваков, С.Ж. Моделирование горнотехнических задач с использованием программы Plaxis [Текст]: / С.Ж. Куваков // Современные проблемы механики сплошных сред, - Бишкек: 2014. 20-й вып., - С. 216-222.

5. Куваков, С.Ж. Напряженно-деформированное состояние дна карьеров при комбинированной разработке крутопадающих месторождений [Текст] / К.Ч. Кожоголов, С.Ж. Куваков, К.Ж. Усенов, А.П. Алибаев // Геомеханика в горном деле. Доклады Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. – Екатеринбург: 2014. – С.71-79.

6. Куваков, С.Ж. Рекомендации по безопасной отработке запасов руды в целиках на руднике «Макмал» [Текст]: / Д.К. Тажибаев, К.Т. Тажибаев, С.Ж. Куваков // Современные проблемы механики сплошных сред, - Бишкек: 2015. 21-й вып., - С. 134-140.

7. Куваков, С.Ж. Наряженное состояние подкарьерных целиков при комбинированной разработке месторождения Макмал [Текст] / К.Ч. Кожоголов, С.Ж. Куваков // Научно-техническое обеспечение горного производства. Тр. – Алматы, 2015. – Т. 87. – С. 85-91.

8. Куваков, С.Ж. Моделирование напряженного состояния подкарьерных запасов при комбинированной разработке рудных месторождений [Текст]: / К.Ч. Кожоголов, С.Ж. Куваков // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. Труды международной конференции «Геодинамика и напряженное состояние недр Земли». – Новосибирск: 2015, №2, - С.14-19.

9. Kuvakov, S.Zh. Mathematical modeling of massif state around the mountain road slopes and highland pit [Text] / S.Zh. Kuvakov, K.Ch. Kozhogulov, G.Dz. Kabaeva // Challenges and innovations in Geotechnics. – Astana, 2016. – P. 237-239.

10. Куваков, С.Ж. Физико-механические свойства горных пород глубоких горизонтов месторождения «Макмал» [Текст] / С.Ж. Куваков, Г.А. Кадыралиева, Б.Т. Джакупбеков // Вестн. Кырг.-Рос. Славян. ун-т. – Бишкек, 2016. – Т. 16, №15. – С. 151-154.

11. Куваков, С.Ж. Численное моделирование напряженно-деформированного состояния прибортовых массивов сложноструктурных месторождений [Текст] / К.К. Абдылдаев, К.Ч. Кожоголов, С.Ж. Куваков // Первый Междунар. симп. «Прогноз и предупреждение тектонических горных ударов и землетрясений: изменение деформации остаточных и действующих напряжений в горных породах». – Бишкек, 2016. – С. 214-220.

12. Куваков, С.Ж. Исследование физико-механических свойств на различных глубинах и анизотропии горных пород месторождения Макмал [Текст] / К.К. Абдылдаев, С.Ж. Куваков, Курманбек уулу Т. // Горная пром-сть. – М., 2017. – №1 (131). – С. 93-95.

13. Куваков, С.Ж. Математическое моделирование напряженно-деформированного состояния прибортовых массивов однородного сложения [Текст] / К.К. Абдылдаев, С.Ж. Куваков, Курманбек уулу Т. // Горная промышленность. – Москва: 2017. №1 (131), - С. 91-93.

14. Куваков, С.Ж. Математическое моделирование прибортового массива карьера «Макмал» [Текст] / С.Ж. Куваков // Наука и инновационные технологии. №3. 5-ая международная научно-практическая конференция «Инновационные технологии и передовые решения». Бишкек: 2017. - С. 39-42.

15. Куваков, С.Ж. Напряженно-деформированное состояния прибортовых массивов и подкарьерных залежей при различных углах падения рудных тел [Текст] / К.К. Абдылдаев, С.Ж. Куваков, Г.Дж. Кабаева, К.Ч. Кожоголов. // Горная промышленность. – Москва: 2017. №6 (136), - С. 92-94.

16. Куваков, С.Ж. Моделирование напряженно-деформированного состояния прибортового анизотропного массива месторождения Макмал [Текст] / К.К. Абдылдаев, С.Ж. Куваков, Курманбек уулу Т., Г.Дж. Кабаева // Горная пром-сть. – М., 2017. – № 6 (136). – С. 94-96.

17. Куваков, С.Ж. Компьютерное моделирование напряженно-деформированного состояния прибортового массива и подкарьерных залежей с породными прослоями [Текст] / К.К. Абдылдаев, Г.Дж. Кабаева, К.Ч. Кожоголов, С.Ж. Куваков // Горная промышленность. – Москва: 2018. №3 (139), - С. 92-94.

18. Kuvakov, S.Zh. Assessment peculiarities of the constructions stability in the areas of affected by mining operations [Text] / G.A. Kadyralieva, B.T. Dzhakupbekov, S.Zh. Kuvakov // Proceedings of the Second Geo-Institute-Kazakhstan Geotechnical Society Joint Workshop. – Orlando, New-York: 2018. - P. 112-116.

Куваков Сталбек Женишбекович 25.00.20 - геомеханика, тоо-тектерин жардыруу менен талкалоо, рудник аэрогазодинамикасы жана тоо-кен жылуулук физикасы адистиги боюнча техника илимдеринин кандидаты илимий даражасын алуу үчүн «Биргелешкен кен казып алуудагы карьер астындагы целиктердин чыңалуу абалын моделдештирүү (Макмал руднигинин мисалында)» деген темада жазылган диссертациясынын

РЕЗЮМЕСИ

Негизги сөздөр: тоо-кен, чыңалуу-деформацияланган абалы, сандык ыкма, чектүү элементтердин ыкмасы, Plaxis, физикалык-механикалык касиеттер, математикалык модель, карьердин капталындагы массив, карьер астындагы целик, «Макмал» кендүү жери, серпилгичтик касиетинин анизотропиясы.

Изилдөө объектиси: «Макмал» кендүү жеринин карьер астындагы целик.

Изилдөөнүн максаты: Биргелешкен кен казып алуудагы карьер астындагы целиктерин чыңалуу абалын баалоо.

Изилдөөнүн ыкмалары: тоо-тектердин физикалык-механикалык касиеттерин аныктоо ыкмалары, серпилгич касиетинин анизотропиясын аныктоодогу акустикалык ыкмасы, тажрыйбалык жыйынтыктардын статистикалык мүнөздөмөлөрүн талдоо ыкмасы, сандык ыкма, чектүү элементтердин ыкмасы.

Изилдөө жабдыктары: ультра үндүү жабдык УК-10ПМ, бир окто басуучу БУ-39 жабдыгы, программалык камсыздоочу Plaxis.

Алынган жыйынтыктар жана алардын жаңычылдыгы:

карьердин бортторунун, жер астында иштеп чыгаруучунун, камеранын жана целиктердин параметрлерин аныктоого мүмкүнчүлүгүн камсыздоочу, «Макмал» кендүү жеринин терен горизонттогу тоо-тектердин физикалык-механикалык касиеттери аныкталды; карьердин капталындагы массивдин туруктуулугун эсептөөгө жана массивдин чыңалуу абалын баалоого мүмкүнчүлүгүн камсыздоочу, серпилгич касиетинин анизотропиясы аныкталды; чыңалуу концентрациясынын зонасын табуу жана тоо урууларын алдын ала айтуу мүмкүнчүлүгүн камсыздоочу «Макмал» кендүү жерин биргелешкен иштетүүдөгү изотроптук жана анизотроптук массивдин чыңалуу абалын жана карьер астындагы целиктерди баалоого ыкмасын иштеп чыгуу аткарылды.

Колдонуу тармагы: иштелип чыккан ыкмалар пайдалуу кен байлыктар табылган жерлердин карьердин капталындагы массивдин жана карьер астындагы целиктердин чыңалуу абалын аныктоого багытталган.

РЕЗЮМЕ

диссертации Кувакова Сталбека Женншбековича на тему: «Моделирование напряженного состояния подкарьерных целиков при комбинированной разработке месторождений (на примере Макмальского рудника)» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.20 - геомеханика, разрушение горных пород взрывом, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика

Ключевые слова: горная порода, напряженно-деформированное состояние, численные методы, метод конечных элементов, Plaxis, физико-механические свойства, математическая модель, прибортовой массив, подкарьерный целик, месторождение «Макмал», анизотропия упругих свойств.

Объект исследования: подкарьерный целик месторождения «Макмал».

Цель исследования: оценка напряженного состояния подкарьерных целиков при комбинированной разработке месторождения.

Методы исследования: методы определения физико-механических свойств горных пород, акустический метод определения анизотропии упругих свойств, численные методы, метод конечных элементов, метод анализа статистических характеристик экспериментальных данных.

Аппаратура исследований: ультразвуковой прибор УК-10ПМ, прибор одноосного сжатия БУ-39, программное обеспечение Plaxis.

Полученные результаты и их новизна:

определены физико-механические свойства горных пород на глубоких горизонтах месторождения «Макмал», позволяющие определить параметры бортов карьера, подземных горных выработок, камер и целиков; определена анизотропия упругих свойств горных пород, позволяющая учитывать их в расчетах устойчивости прибортового массива, напряженного состояния массива горных пород; разработана методика оценки напряженного состояния изотропного и анизотропного прибортового массива и подкарьерных целиков при комбинированной разработке месторождения «Макмал», позволяющая выявить зоны концентрации напряжений и прогнозировать горные удары.

Область применения: разработанные методы ориентированы для определения напряженного состояния прибортового массива горных пород и подкарьерных целиков месторождений полезных ископаемых.

RESUME

dissertation of Kuvakov Stalbek Zhenishbekovich on a theme: «Modeling stress stain of under career pillars of combined development of deposits (for example Makmal mine)» on competition of a scientific degree of Cand.Tech.Sci., specialty 25.00.20 - Geomechanics, destruction of rocks by explosion, miner aerogas dynamics and mountain thermal physics

Keywords: rock, stress-deformation stain, numerical method, finite element method, Plaxis, physical-mechanical properties, mathematical modeling, near-field massive, under career pillars, Makmal deposits, anisotropy of elastics properties.

Subject of researches: under career pillars of Makmal deposits.

The purpose of research: strass stain assessment of under career pillars of combine system development.

Research methods: determination method of physical-mechanical properties of rock, acoustic method determination of anisotropy of elastics properties, numerical method, finite element method, a method of the analysis of statistical characteristics of experimental data.

Equipment of researches: ultrasonic device UK-10PM, uniaxial compression devise BU-39, software Plaxis.

The gained results and their novelty:

the physicomachanical properties of the rocks on the deep horizons of the Makmal deposit are determined, allowing to determine the parameters of the pit walls, underground mine workings, chambers and pillars; the anisotropy of the elastic properties of rocks is determined, allowing them to be taken into account in the calculations of the stability of the near-surface massif and the stress state of the rock massif; A technique has been developed for estimating the isotropic and anisotropic near-wall array and podkarer pillars in the combined development of the Makmal field, which allows identifying stress concentration zones and predicting rock blows.

Application area: The developed methods are oriented to determine the stress state of the near-side massif of rocks and podcaryl pillars of mineral deposits.

Куваков Сталбек Женишбекович

**Моделирование напряженного состояния подкарьерных целиков
при комбинированной разработке месторождений
(на примере Макмальского рудника)**

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Подписано к печати 23.05.2019 г.
Формат бумаги 60x84 ¹/₁₆. Объем 1,25 п.л.
Бумага офсетная. Печать офсетная
Тираж 100 экз. Заказ 724

720020., Бишкек, ул. Малдыбаева, 34, б
Кыргызский государственный университет строительства,
транспорта и архитектуры

