

На правах рукописи



ДЕДЕГКАЕВА Нина Таймуразовна

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОДЗЕМНОЙ
ГЕОТЕХНОЛОГИИ ОСВОЕНИЯ НАРУШЕННЫХ СОВМЕСТНЫМ
ВЛИЯНИЕМ ОТКРЫТЫХ И ПОДЗЕМНЫХ РАБОТ ЗАПАСОВ
ТЫРНЫАУЗСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

Специальность 2.8.8. Геотехнология, горные машины

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Владикавказ - 2024

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)»

Научный руководитель:

СТАДНИК Денис Анатольевич

доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «СКГМИ (ГТУ)», профессор кафедры горного дела

Официальные оппоненты:

ЗОТЕЕВ Олег Вадимович

доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник лаборатории геодинамики и горного давления Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института горного дела Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург

МАСЛЕННИКОВ Станислав Александрович

кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Строительство и техносферная безопасность» Института сферы обслуживания и предпринимательства (филиала) ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» в г. Шахты Ростовской области

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург

Защита диссертации состоится 9 июля 2024 г. в 12-00 час. на заседании диссертационного Совета Д 24.2.397.02 при ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)», по адресу: 362021, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Николаева, 44, диссертационный зал, корпус 20.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет): <https://www.skgmi-gtu.ru>.

Автореферат разослан 15 мая 2024 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



М.В. Гегелашвили

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Для реализации программных задач «Стратегии развития металлургической промышленности Российской Федерации на период до 2030 года» на Тырнаузском месторождении предусмотрено возобновление добычи вольфрама и молибдена, с вовлечением в отработку рудных залежей нарушенных совместным влиянием открытых и подземных горных работ.

Техническим проектом разработки месторождения и рабочей документацией по подземному руднику для отработки запасов предусмотрено применение камерно-целиковой системы разработки с твердеющей закладкой с использованием хвостов обогащения. Принятые в проекте параметры системы разработки базируются на данных накопленного опыта горных работ на руднике «Молибден» и инженерных расчетах, без учета особенностей деформирования массива горных пород под влиянием технологических процессов совместной открытой и подземной разработки месторождения, что не исключает возможность образования зон обрушения, как в породах висячего бока так и в вышележащем рудо-породном массиве.

Повышение эффективности и безопасности разработки мощных крутопадающих месторождений на основе обоснования параметров сплошной камерной системы разработки с твердеющей закладкой, с учетом особенностей деформирования массива горных пород под влиянием технологических процессов совместной открытой и подземной разработки, является важной и актуальной задачей.

Цель работы – обоснование параметров подземной геотехнологии освоения нарушенных совместным влиянием открытых и подземных работ запасов месторождения, обеспечивающих эффективность и безопасность разработки мощных крутопадающих рудных тел.

Идея работы – повышение эффективности и безопасности подземной отработки мощных крутопадающих месторождений сплошными камерными системами разработки с закладкой выработанного пространства достигается выемкой запасов под защитой ранее сформированного массива из твердеющей закладки с уклоном на рудное тело в условиях недостаточной устойчивости горных пород вследствие их нарушенности совместным влиянием открытых и подземных горных работ.

Задачи исследования:

- анализ мировой и отечественной горнорудной практики разработки мощных крутопадающих месторождений;
- изучение инженерно-геологических особенностей месторождения в проектных границах ведения подземных горных работ и в карьере;
- районирование месторождения на основе оценки интенсивности вертикальных сдвижении блоков и трещиноватости рудовмещающего массива;
- исследование влияния порядка отработки камер на особенности деформирования закладочного массива;
- обоснование параметров технологии подземной разработки запасов руд, нарушенных совместным влиянием открытых и подземных горных работ;
- разработка и оценка способов отработки запасов руд нарушенных совместным влиянием открытых и подземных горных работ.

Предмет исследования – технология подземной отработки участков руд нарушенных совместным влиянием открытых и подземных горных работ сплошными камерными системами разработки с закладкой выработанного пространства.

Методы исследований включают анализ и оценку мировой и отечественной горнорудной практики разработки мощных крутопадающих месторождений; морфоструктурный и линеаментный анализ инженерно-геологических условий разработки месторождения, натурные исследования массива горных пород, физическое моделирование на эквивалентных материалах, исследования свойств и процессов формирования массива из твердеющей закладки, обработка и оценка результатов исследований.

Положения, защищаемые в работе:

1 Технологии отработки мощных крутопадающих месторождений сплошными камерными системами разработки с закладкой выработанного пространства, в условиях недостаточной устойчивости горных пород, вследствие их нарушенности совместным влиянием открытых и подземных работ, позволяют вести выемку запасов очистных камер под защитой ранее сформированных с уклоном на рудное тело массивов из твердеющей закладки, что обеспечивает повышение эффективности и безопасности ведения горных работ, за счет повышения устойчивости формируемых горнотехнических конструкций действующим нагрузкам.

2. Формирование стенок заложённых твердеющей закладкой камер с углом наклона в сторону рудного тела равным 70-85 градусов обеспечивает равномерный характер распределения напряжений на контурах камер, снижает величину растягивающих напряжений, что позволяет повысить устойчивость искусственного и рудного массивов в рамках единой геомеханической системы.

3. Способ механоактивации твердеющих смесей с использованием отходов вольфрамо-молибденового производства в дезинтеграторах и вертикальных вибромельницах обеспечивает приращение прочности закладки на 0,9-1,2 МПа на 28 сутки твердения, в зависимости от цементно-хвостового соотношения.

Научная новизна работы:

1. Разработана и научно обоснована эффективная подземная геотехнология освоения участков руд нарушенных совместным влиянием открытых и подземных горных работ сплошными камерными системами разработки с формированием наклонных стенок заложённых твердеющей закладкой очистных камер с уклоном на рудный массив.

2. Выявлено, что параметры сдвижения подрабатываемого массива горных пород при сплошных камерных системах разработки с закладкой выработанного пространства по мере увеличения пролета подработки до 35-45 м и приближения очистных работ к границам прикарьерной зоны возрастают и подчиняется тренду с полиномиальным уравнением регрессии $V_0 = -0,0016 L_0^5 + 0,0264 L_0^4 - 0,1986 L_0^3 + 0,657 L_0^2 - 0,905 L_0 + 0,4112$ (где L_0 – удаление от зоны очистных работ).

3. Установлено, что формирование поля напряжений при отработке рудной залежи сплошными камерными системами разработки с закладкой выработанного пространства характеризуется концентрацией напряжений в зоне опорного давления и релаксацией напряжений в закладочном массиве, при этом величина коэффициента концентрации напряжений (K_H) зависит от удаления от зоны очистных работ (L_0) и описывается полиномиальным уравнением регрессии $K_H = -0,0005L_0^5 + 0,0114L_0^4 - 0,0789L_0^3 + 0,1647L_0^2 + 0,0234L_0 + 0,9919$.

4. Выявлены закономерности формирования закладочного массива с использованием активированных отходов вольфрамо-молибденового производства, включающие логарифмические зависимости прочности

твердеющей смеси от цементно-хвостового соотношения и сроков твердения.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций обеспечиваются применением современных методов научных исследований, сопоставимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований, их сходимостью с практикой разработки участков месторождений нарушенных совместным влиянием открытых и подземных горных работ системами разработки с закладкой выработанного пространства, корректностью применяемого математического аппарата.

Практическая значимость работы состоит в разработке и обосновании параметров технологических схем отработки участков руд нарушенных совместным влиянием открытых и подземных горных работ сплошными камерными системами разработки с закладкой и формированием наклонных стенок очистных камер с уклоном на рудный массив, обеспечивающих безопасность и повышение эффективности горных работ.

Реализация работы. Основные положения диссертационной работы использованы при составлении проектной и рабочей документацией по отработке запасов Тырнаузского месторождения вольфрамо-молибденовых руд. Основные научные положения и технологические решения диссертации используются в учебном процессе ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)» для студентов специальности 21.05.04 «Горное дело».

Личный вклад соискателя состоит в анализе и обобщении опыта отработки мощных крутопадающих месторождений, установлении геомеханических особенностей отработки месторождения и состояния геологических запасов, совершенствовании и обосновании параметров подземной геотехнологии выемки участков руд нарушенных совместным влиянием открытых и подземных горных работ, составлении технологических рекомендаций по подземной разработке Тырнаузского месторождения вольфрамо-молибденовых руд с оценкой их эффективности.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы рассматривались на следующих конференциях и симпозиумах: VII Всероссийской научно-практической конференции «Исследование инновационного потенциала общества и формирование направлений его стратегического развития» (Курск, 2017 г.), Международных научных

симпозиумах «Неделя горняка» (Москва, 2020-2023 гг.), II Всероссийской научно-практической конференции «Современные научно-технические и социально-гуманитарные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации» (Владикавказ, 2021 г.), II Всероссийской научно-практической конференции «Золото полиметаллы. XXI век: устойчивое развитие» (Челябинск, 2020 г.), ежегодных научно-технических конференциях СКГМИ (ГТУ) (Владикавказ, 2018-2024 гг.).

Публикации. Результаты диссертационной работы в достаточной степени освещены в 12 печатных работах, в том числе в 4 статьях - в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий ВАК РФ, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из оглавления, введения, четырех глав с выводами по каждой из них, заключения, списка литературы, включающего 100 наименований, изложена на 115 страницах машинописного текста и содержит 55 рисунка и 30 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Применение одновременно открытого и подземного способов разработки сопровождается развитием сложных геомеханических процессов, обусловленных взаимным влиянием горных работ в рамках единой системы. Поля напряжений и деформаций в массивах пород являются результатом взаимодействия соответствующих полей, формирующихся под влиянием техногенных и природных факторов. Это дифференцирует зоны нагрузки и разгрузки, зоны концентрации напряжений, формирует сложные механические системы с одним или несколькими слабыми звеньями. Совместное влияние открытых и подземных работ увеличивает напряженное состояние массива, снижается устойчивость обнажений, повышается степень и интенсивность отслоений вмещающих пород.

Изучение вопросов технологии формирования закладочных массивов при разработке мощных крутопадающих месторождений одновременно открытым и подземными способами показало, что все предложенные идеи, подходы и решения ведущих отечественных ученых академика М.И. Агошкова, член-корреспондента РАН Д.Р. Каплунова, докторов технических наук И.И. Айнбиндера, Н.Г. Валиева Н.Г., О.З. Габараева, В.И. Голика, Н.Ф. Замесова ,

О.В. Зотеева, В.Н. Калмыкова, Е.А. Котенко, И.А. Пыталева, М.В. Рыльниковой, И.Н. Савича, И.В. Соколова, М.Н. Цыгалова, Ю.Н. Шапошника и других внесли значительный вклад в развитие подземной геотехнологии освоения рудных месторождений. Однако, несмотря на значительное количество, проведенных исследований и накопленный опыт, вопросы обоснования параметров технологии возведения закладочных массивов и порядка их формирования при отработке участков руд нарушенных совместным влиянием открытых и подземных горных работ изучены недостаточно полно.

Задачи решались применительно к условиям отработки Тырнаузского месторождения вольфрамо-молибденовых руд. Месторождение приурочено к Тырнаузу - Пшекишской мобильной зоне, сложенной сильно метаморфизованными породами палеозоя и нижней юры, прорванными интрузивными телами разного состава и возраста. Слепая залежь является одним из основных скарновых рудных тел месторождения. Рудное тело на верхних горизонтах падает на север и на юг под углами $65-85^\circ$. Мощность рудного тела достигает в среднем 15-20 м. Крепость горных пород 10-15 по шкале Протодяконова. Массив месторождения характеризуется повышенной, но неравномерно распределенной трещиноватостью. Величина тензора главных напряжений по мере приближения к естественному склону месторождения увеличивается и на контуре не переходит в нулевое состояние, а принимает значение, равное $0,2 \div 0,3 \text{ } \gamma\text{H}$, тогда как, горизонтальные напряжения могут принимать значения выше вертикальных.

Месторождение отрабатывалось открытым способом карьерами «Высотный» и «Мукуланский», и подземным способом ниже уровня шахтного поля карьера «Мукуланский» - рудником «Молибден». При отработке месторождения на горизонте 2165 м применялась этажно-камерная система разработки с закладкой. Выработанное пространство заполняли сухой породной закладкой с последующей инъекцией песчано-цементным раствором. В результате неполного заполнения камер закладочным материалом и последующей усадки сухой породной закладки произошло обрушение потолочины. Для дальнейшей отработки запасов институтом «Гипроникель» было предложена закладка камер первой очереди твердеющей смесью. Результаты отработки блока показали, что при выемке вторичных камер,

вследствие значительной высоты камер и низкой устойчивости искусственного массива, происходит разубоживание руды закладочным материалом, которое доходило до 10-12%. Главные недостатки применяемых на руднике систем разработки связаны с ухудшением качества добытой руды, проблемами управления состоянием устойчивости рудного массива.

Для контроля деформационного состояния рудного массива в районе «Слепой» залежи были установлены глубинные реперы и оборудованы наблюдательные станции на подземных горизонтах 2465 м, 2240 м и 2165 м. Динамику критической деформации массива горных пород и последующую отстройку опасных зон фиксировали при помощи маркшейдерских замеров.

Результаты оценки деформационного состояния рудного массива представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Данные маркшейдерских замеров

Слагающие элементы	Горизонт	Скорость оседания пород, мм/с		Коэффициент структурного ослабления
		максимальная	средняя	
Слепая залежь	2240	14	2,7	0,38
Слепая залежь	2390	15	3,0	0,42
Главный скарн	2317	11	2,5	0,36
Главный скарн	2390	17	3,0	0,43
Карьер «Мукуланский»	2464	9	2,3	0,33

Анализ процессов, происходящих в зонах влияния открытых и подземных горных работ позволил установить: в непосредственной близости от участков производства открытых и подземных работ возникает зона нарушенности рудопородного массива с минимальной несущей способностью, за которой следует зона ослабленных пород запредельного деформирования с возрастанием устойчивости по мере удаления от места ведения очистных работ; в ранее отработанном пространстве протекающие геомеханические процессы увеличивают тектоническую нарушенность массива горных пород, снижая его устойчивость; значения коэффициента структурного ослабления, в зависимости от густоты и ориентации трещин меняется от 0,33 до 0,43.

По результатам изучения данных геолого-структурной съемки выработок и бурения инженерно-геологических скважин в пределах Тырнаузского

месторождения, используя методы морфоструктурного и линеamentного анализа, выявлено 7 доменов и 12 тектонических нарушений массива горных пород 3-5 ранга (Рисунок 1), которые будут оказывать существенное влияние на устойчивость пород и руд при обнажении.

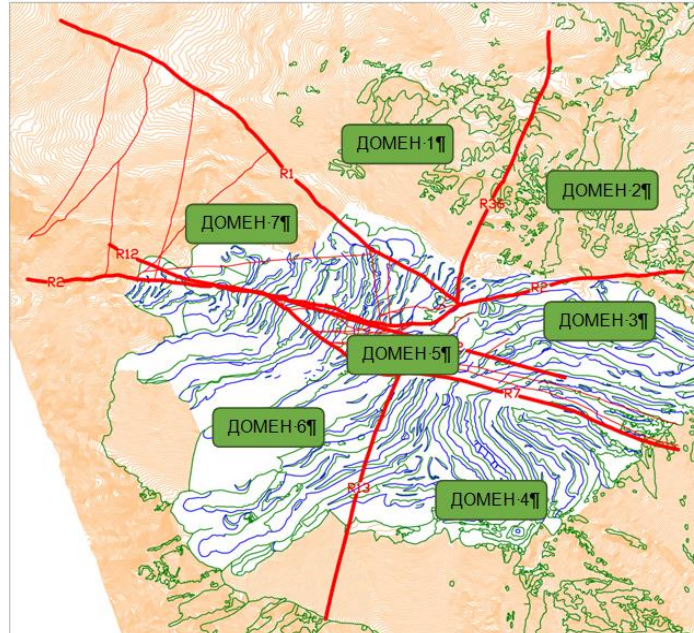


Рисунок 1 - Схема тектонических нарушений месторождения

Выделено 3 типа проявления интенсивной тектонической нарушенности пород, характеризующихся повышенной водопроницаемостью: зоны раздробленных горных пород; зоны интенсивного проявления разрывных нарушений; зоны интенсивной трещиноватости.

Моделированием на эквивалентных материалах решались горнотехническая задача, связанная с оценкой напряженного состояния рудовмещающего массива с учетом отработки рудной залежи в сплошном с наклоном стенок камер на рудный массив и камерно-целиковом порядке.

Результаты моделирования влияния тектонических нарушений на характер перераспределения поля первичных напряжений представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Характер перераспределения поля первичных напряжений

Удаление от зоны очистных работ, м	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
Коэффициент концентрации напряжений	1,02	1,15	1,18	1,1	1	1,05	1,04	1,09	1,15	1

Исследования показали, что в большей степени зоны повышенных напряжений с коэффициентом концентрации, достигающим в максимуме 1,18 проявлялись в зонах тектонических нарушений в 10 м от зоны очистных работ.

Процессы формирования напряжений и деформаций в выработанном пространстве в зависимости от стадийности отработки и закладки очистных камер моделировались в два этапа, сначала определяли характер распределения напряжений по мере развития очистных работ, затем устанавливали параметры сдвижения подработанного массива горных пород. Распределение показателя коэффициента концентрации напряжений (K_H) по мере удаления от зоны очистных работ в зависимости от порядка отработки камер представлено на рисунке 2.

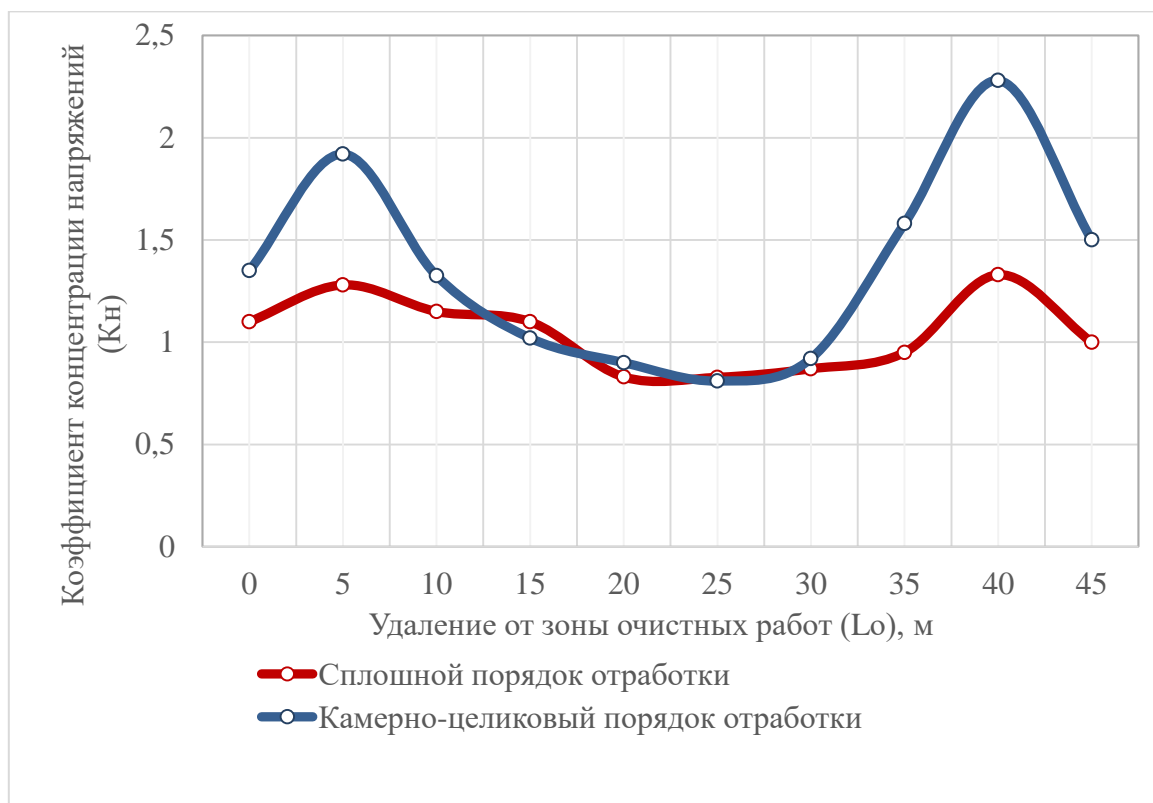


Рисунок 2 - Распределение напряжений при развитии очистных работ

Уравнения регрессии по результатам обработки эксперимента в натуральном масштабе:

- при камерно-целиковом порядке отработки

$$K_H = -0,0007L_0^5 + 0,0116L_0^4 - 0,0239L_0^3 - 0,3385L_0^2 + 1,3477L_0 + 0,4067 \quad (1)$$

- при сплошном порядке отработки с наклоном стенок камер на рудный массив:

$$K_H = -0,0005L_0^5 + 0,0114L_0^4 - 0,0789L_0^3 + 0,1647L_0^2 + 0,0234L_0 + 0,9919 \quad (2)$$

Исследования показали, что в начальной стадии отработки рудной залежи коэффициент концентрации напряжений в зонах влияния опорного давления изменяется в пределах от 1,22 до 1,38 и в среднем составлял 1,25. Напряжения при этом изменялось в диапазоне от 21,1 до 25,7 МПа, в среднем составляя 22,9 МПа. При дальнейшем развитии очистных работ и приближения их к границам открытых работ напряженность рудного массива в зоне опорного давления возрастает. Коэффициент концентрации напряжений при этом изменяется в диапазоне от 1,32 до 2,28 и в среднем составляет 1,65. В целом формирование поля напряжений при отработке рудной залежи характеризуется концентрацией напряжений в зоне опорного давления и релаксацией напряжений в закладочном массиве; распределение напряжений с вероятностью 0,89-0,91 подчиняется тренду с полиномиальным уравнением пятой степени.

Параметры сдвижения подрабатываемого массива горных пород зависят от пролета подработки и в начальной стадии очистных работ характеризуются незначительными величинами (Рисунок 3). Величины сдвижения подработанного массива горных пород (V_0) при пролете подработки до 40 м не превышают 12 мм.

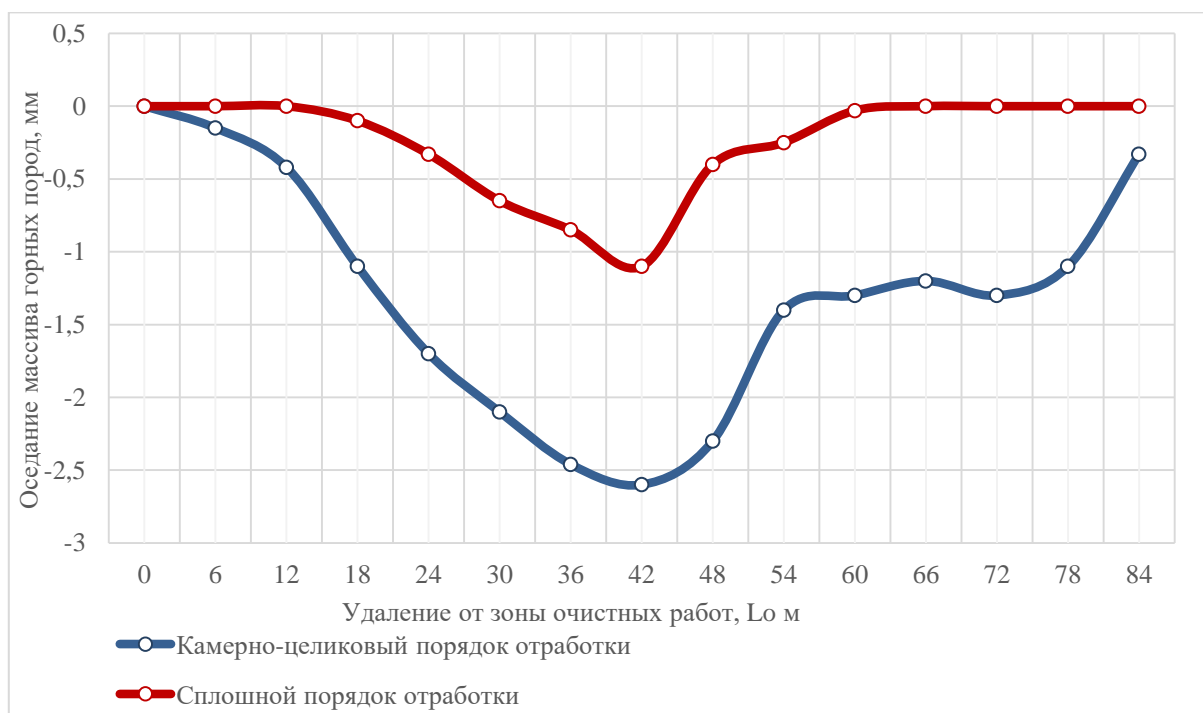


Рисунок 3 - Оседание подработанного массива горных пород

Уравнения регрессии зависимости оседания подработанного массива горных пород от пролета отработки по результатам обработки эксперимента в натуральном масштабе:

- при камерно-целиковом порядке отработки

$$V_0 = 0,0003L_0^5 - 0,0116L_0^4 + 0,1806L_0^3 - 1,1794L_0^2 + 2,6499L_0 - 1,757 \quad (3)$$

- при сплошном порядке отработки

$$V_0 = -0,0016L_0^5 + 0,0264L_0^4 - 0,1986L_0^3 + 0,657L_0^2 - 0,905L_0 + 0,4112 \quad (4)$$

Выявлено, что по мере увеличения пролета подработки до 80 м и приближения очистных работ к границам открытых работ величины сдвижения массива горных пород возрастают и в максимуме составляют 170 мм. Характер сдвижения массива горных пород, как и в случае распределения напряжений, также подчиняется с вероятностью 0,9-0,95 тренду с полиномиальным уравнением пятой степени.

В сравнении со схемой разработки всей залежи с полной закладкой применение двухстадийной выемки запасов, с извлечением запасов камер по камерно-целиковой схеме дает различия в формировании напряжений и деформаций в выработанном пространстве и впереди фронта работ. При действующих нагрузках и существующих пролетах отработки закладочный массив еще не выберет своих компрессионных свойств, поэтому напряжения во вторичных полосах будут возрастать не пропорционально площадям выемки первичных полос и, как ожидается, при сохранении закономерностей деформирования налегающей толщи не превысят γH . Уровень напряжений будет безусловно определяться временем сдвижения налегающей толщи.

Одна из идей сплошного способа разработки заключается в локализации зон обрушения и сдвижения налегающей толщи без разрыва сплошности. В этом случае несущая способность передних целиков между локальными зонами обрушения должна обеспечить передачу веса подработанного массива на искусственные целики, сформированные выемкой первичных полос с закладкой. Перемещение налегающей толщи будет происходить в пределах податливости искусственного массива.

При действующих нагрузках и существующих пролетах отработки закладочный массив, вступая в режим объемного неравно-компонентного сжатия, оказывается нагруженным не равномерно (Рисунок 4). В центральной части давление создаваемое налегающей толщей пород составляет до 1,2 γH . В краевой части сформированного массива давление можно определить от собственного веса закладки:

$$\sigma_{и} = \gamma_{и} h_{и}, \quad (5)$$

где $\gamma_{и}$ и $h_{и}$ – удельный вес и высота закладочного массива.

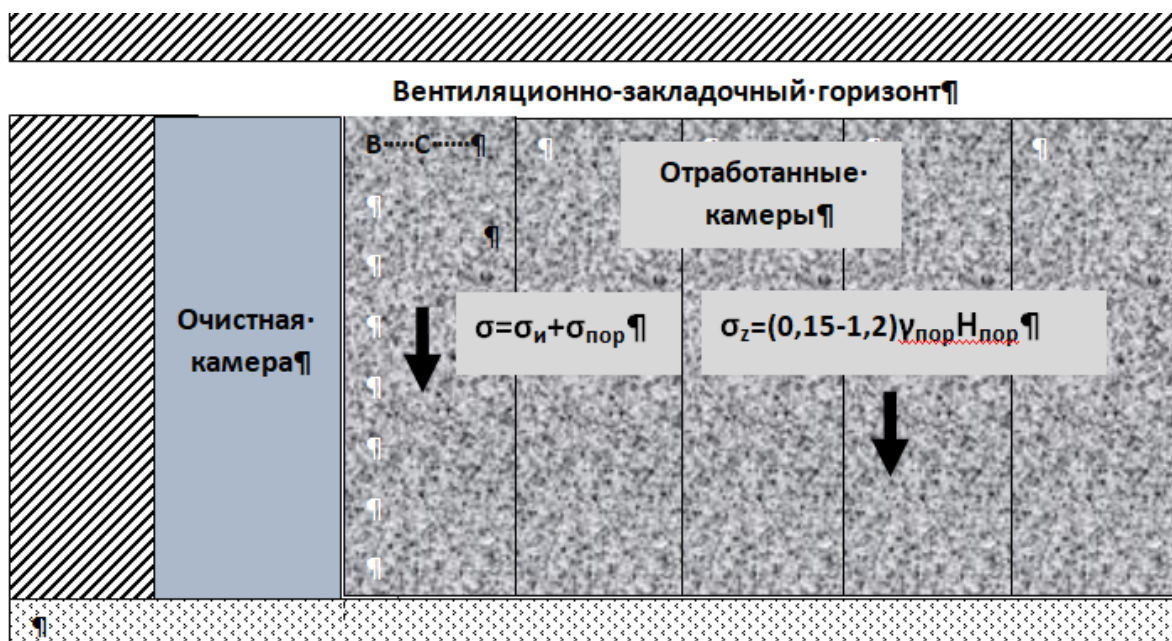


Рисунок 4 - Напряжения действующие в массиве из твердеющей закладки В условиях объемного сжатия, соотношение между пределами прочностей можно определить из выражения:

$$\sigma_o^{сж} = k_o k_{уп} \sigma_{сж} \quad (6)$$

где k_o - коэффициент, учитывающий влияние ограничения боковой деформации на величину предела прочности материала на сжатие; $k_{уп}$ - коэффициент упрочнения закладочного массива; $\sigma_o^{сж}$ - предел прочности материала на сжатие в условиях частично ограниченной боковой деформации; $\sigma_{сж}$ - предел прочности материала на сжатие в условиях свободной деформации.

При введении коэффициентов k_o и $k_{уп}$, в формулу 5, которые учитывают влияние ограничения боковой деформации на величину предела прочности сформированной закладки на сжатие и упрочнения закладочного массива при объемном сжатии $\sigma_{сж}^{норм}$ будет иметь вид:

$$\sigma_{сж}^{норм} = \frac{\sigma_{и} k_3}{k_{ф} k_{д} k_o k_{уп}} \quad (7)$$

где: $\sigma_{и}$ – давление на участок массива из твердеющей смеси, МПа; k_3 - коэффициент запаса прочности; $k_{д}$ - коэффициент длительной прочности; $k_{ф}$ - коэффициент формы.

Исходя из действующих нагрузок и существующих пролетах отработки при отработке участков руд нарушенных совместным влиянием открытых и

подземных горных работ должны обеспечивать следующие прочностные в нормативные сроки твердения (Таблица 3):

Таблица 3 - Нормативная прочность твердеющей закладки

Показатели	Высота вертикального обнажения, м				
	15	30	45	60	75
Длина пролета очистной выемки, м	20	20	20	20	20
Ширина искусственного массива, м	20	20	20	20	20
Прочность закладки в возрасте 28 суток, МПа	2,67	3,04	3,51	4,10	4,63

Расчетная нормативная прочность закладочного массива в зависимости от заданной глубины разработки и параметров принятой системы разработки установлена в диапазоне от 2,67 до 4,63 МПа.

В условиях первоначальной стадии отработки месторождения невозможно удовлетворить потребности закладочного комплекса имеющимися хвостами новой фабрики. В результате чего, появляется необходимость вовлечения в отработку лежалых хвостов обогащения, которые при механоактивации можно использовать в качестве частичного заменителя вяжущего при производстве закладочных смесей. Активация пород и тонкость измельчения достигаются путем механоактивации вяжущих компонентов в дезинтеграторе и виброактивации инертных материалов в вертикальной вибромельнице. Для сокращения расхода цемента и уменьшения затрат на закладочные работы были проведены исследования по оценке влияния эффекта активации на свойства закладочной смеси в лабораторных условиях. Расход материалов по составам закладочных смесей планируем к испытаниям принимался в соответствии с таблицей 4.

Таблица 4 - Рекомендуемые к проведению испытаний составы

Марка состава	Расход материалов, кг/м ³			
	Хвосты обогащения	Хвосты отвальные	Цемент	Вода
ХЦ-170	845	600	170	400
ХЦ-230	785	600	230	400

Результаты исследований представлены на рисунке 5.

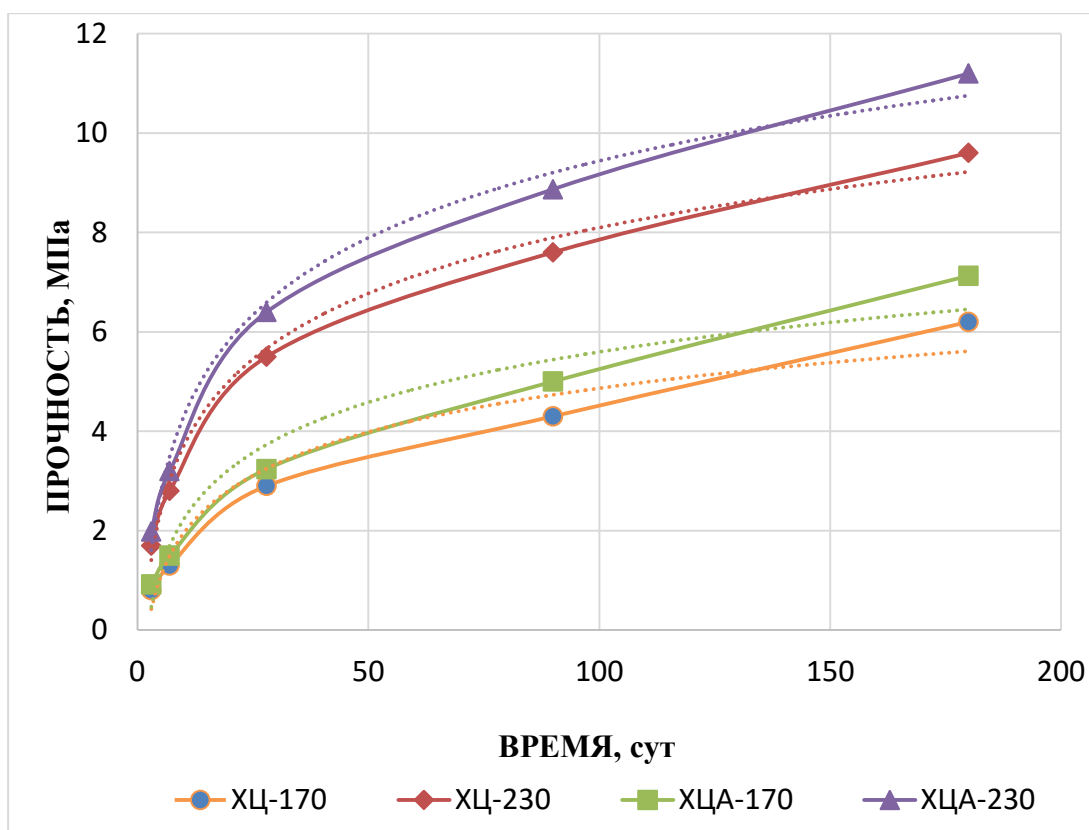


Рисунок 5 – Кинетика набора прочности

В результате обработки экспериментальных данных выявлены закономерности формирования закладочного массива с использованием активированных отходов вольфрамо-молибденового производства, включающие логарифмические зависимости прочности твердеющей смеси от цементно-хвостового соотношения и сроков твердения:

смеси без активации

$$\text{ХЦ-170} \quad \sigma_{\text{сж}} = 1,268\ln(t) - 0,977 \quad R^2 = 0,957 \quad (8)$$

$$\text{ХЦ-230} \quad \sigma_{\text{сж}} = 1,909\ln(t) - 0,696 \quad R^2 = 0,990 \quad (9)$$

активированные смеси

$$\text{ХЦА-170} \quad \sigma_{\text{сж}} = 1,463\ln(t) - 1,146 \quad R^2 = 0,956 \quad (10)$$

$$\text{ХЦА-230} \quad \sigma_{\text{сж}} = 2,235\ln(t) - 0,855 \quad R^2 = 0,990 \quad (11)$$

где: $\sigma_{\text{сж}}$ - прочность образца, МПа; t - время, сутки, R^2 - коэффициент достоверности аппроксимации.

Исследования показали, что измельчение вяжущих компонентов закладочной смеси массива с использованием активированных отходов вольфрамо-молибденового производства позволяет увеличить прочность образцов закладки на 13-19% в зависимости от сроков твердения.

С целью определения устойчивых параметров стенок камер для различных соотношений их высоты и длины были проведены исследования по методике ВНИМИ. Исследованиями установлено, что в массиве из твердеющей закладки наблюдаются деформации, которые развиваются от основания камеры под углом сдвижения массива. Зависимость устойчивых размеров стенок камер от угла их наклона имеет форму гиперболы и может быть описана выражением:

$$H_{\kappa} = A + \frac{M}{L_{\kappa} - A} \quad (12)$$

где H_{κ} - высота стенки камеры; L_{κ} - длина стенки; A и M - коэффициенты, зависящие от свойств пород и условий обработки.

Результаты исследований по установлению устойчивых размеров стенок камер в зависимости от угла их наклона для различных соотношений высоты и длины представлены в таблице 5.

Таблица 5 - Размеры стенок камер в зависимости от угла их наклона

Высота камеры, м	Длина камеры при угле наклона стенок, м				
	90 ⁰	85 ⁰	80 ⁰	75 ⁰	70 ⁰
15	13	14	16	18	20
45	10	12	14	16,5	18,1
75	8	11	12,5	14,1	15,9

Формирование стенок заложённых твердеющей закладкой камер с углом наклона в сторону рудного тела равным 70-85 градусов обеспечивает равномерный характер распределения напряжений на контурах камер, снижает величину растягивающих напряжений, что позволяет повысить устойчивость искусственного и рудного массивов в рамках единой геомеханической системы.

Исследования закономерностей взаимодействия разрушенных геоматериалов, искусственных и рудовмещающих массивов при отработке запасов месторождения на границах открытых и подземных работ, в зонах нарушенных пород с недостаточной несущей способностью, позволили разработать вариант сплошной камерной системы с наклоном стенок заложённых твердеющей смесью камер на рудный массив (Рисунок б).

При рекомендуемой системе разработки высота этажа определяется расчетом и составляет 75 м. Ширина камер соответствует мощности рудного тела, высоту, длину и угол наклона камер устанавливают расчетом в зависимости от устойчивости рудного и искусственного массивов.

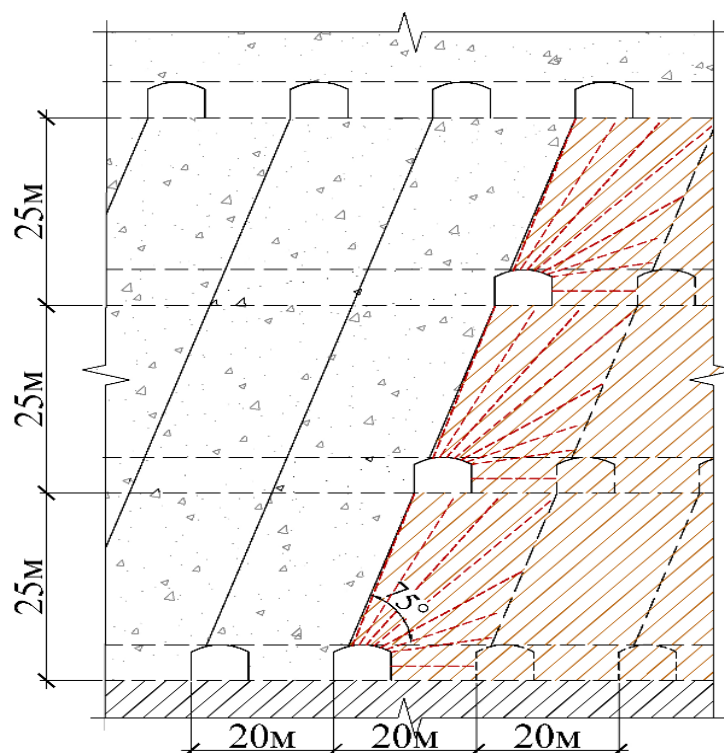


Рисунок 6 - Вариант сплошной камерной системы разработки с наклоном стенок камер на рудный массив

Отработку запасов в камере ведут в отступающем порядке от одного фланга к другому. Для закладки верхних частей камер используют активированные цементно-хвостовые составы ХЦА-230, нижней части - ХЦА-170. Прочность активированных смесей на сжатие представлена в таблице 6.

Таблица 6 - Прочность активированных смесей на сжатие

Марка состава	Прочность в различном возрасте, сутки, МПа				
	3	7	28	90	180
ХЦА-170	0,92	1,5	3,24	5	7,13
ХЦА-230	1,98	3,2	6,4	8,87	11,2

В период закладки верхней части очистных камер повышают подвижность смеси для сокращения угла растекания и более полной дозакладки камер. Для этого увеличивают расход вяжущего на 15-20% и одновременно воды, сохраняя постоянным водовязущее отношение, а следовательно и прочность искусственного массива. В этом случае закладочный массив за более короткие сроки войдет в режим объемного неравно-компонентного сжатия.

Разработанная технология отработки мощных крутопадающих месторождений сплошными камерными системами разработки с закладкой

выработанного пространства путем формирования стенок очистных камер с уклоном на рудный массив позволяет повысить эффективность и безопасность выемки участков руд нарушенных совместным влиянием открытых и подземных горных работ.

Эффективность разработанных в диссертационной работе технологических решений определяем, путем сопоставления приведенных затрат по общепринятой методике. Результаты оценки эффективности использования проектной (камерная система разработки с закладкой выработанного пространства и с выемкой запасов по камерно-целиковой схеме) и рекомендуемой технологии разработки приведены в таблице 7.

Таблица 7 - Показатели систем разработки

Показатели	Проектная технология	Рекомендуемая технология
Содержание вольфрама в балансовых запасах, %	0,2	0,2
Разубоживание руды, %	15,9	10
Потери руды при добыче, %	7,5	3,1
Извлечение металла в концентрат, %	84,2	86
Содержание вольфрама в концентрате, %	56,4	57,1
Затраты на переработку 1т руды, руб	730	730
Затраты на добычу 1т руды, руб	2720	2907
Приведенные затраты на 1т металла в концентрате, руб	14853	13844
Эффективность на 1т металла в концентрате, руб		1009

Результаты оценки технологических решений показали, что при использовании сплошной камерной системы разработки с наклоном стенок камер на рудный массив приведенные затраты на 1т металла в концентрате на 1009 руб ниже по сравнению с проектной технологией. Применение рекомендуемой технологии отработки месторождения при производственной мощности рудника 1,5 млн. тонн в год позволит получить экономический эффект в размере более 393 млн. руб., за счет снижения потерь на 4-5% и разубоживания руды на 5-7%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой на основе выполненных автором исследований решена актуальная научно-

практическая задача – обоснованы параметры подземной геотехнологии освоения запасов месторождения, нарушенных совместным влиянием открытых и подземных горных работ, обеспечивающие эффективность и безопасность разработки мощных крутопадающих рудных тел, что имеет существенное значение для развития горнодобывающей промышленности.

Основные научные и практические результаты, выводы и рекомендации заключаются в следующем:

1. Установлено, что рудо-породный массив помимо тектонических нарушений, характеризуется наличием систем техногенных трещин различной протяженности, что связано влиянием открытых и подземных горных работ.

2. Выявлено, что вблизи участков производства открытых и подземных работ возникает зона нарушенности рудо-породного массива с минимальной несущей способностью, за которой следует зона ослабленных пород запредельного деформирования с возрастанием устойчивости по мере удаления от места ведения очистных работ.

3. Применение двухстадийной выемки запасов по проектной технологии по сравнению со схемой отработки залежи со сплошной выемкой руды дает различия в формировании напряжений и деформаций в выработанном пространстве и впереди фронта работ, приводящие к ухудшению геомеханической ситуации в зоне очистных работ.

4. Установлено, что при развитии очистных работ и приближения их границам прикарьерной зоны напряженность рудного массива в зоне опорного давления возрастает, коэффициент концентрации напряжений при этом изменяется в диапазоне от 1,32 до 2,28 и в среднем составляет 1,65.

5. Выявлено, что параметры сдвижения подрабатываемого массива горных пород при сплошных камерных системах разработки с закладкой выработанного пространства по мере увеличения пролета подработки до 35-45 м и приближения очистных работ к границам прикарьерной зоны возрастают и подчиняется тренду с полиномиальным уравнением регрессии $V_0 = - 0,0016 L_0^5 + 0,0264 L_0^4 - 0,1986 L_0^3 + 0,657 L_0^2 - 0,905 L_0 + 0,4112$ (где L_0 – удаление от зоны очистных работ).

6. Доказано, что величина коэффициента концентрации напряжений (K_H) при применении сплошных камерных систем разработки с закладкой выработанного пространства с наклоном стенок очистных камер на рудный

массив зависит от удаления от зоны очистных работ (L_0) и описывается полиномиальным уравнением регрессии $K_H = -0,0005L_0^5 + 0,0114L_0^4 - 0,0789L_0^3 + 0,1647L_0^2 + 0,0234L_0 + 0,9919$.

7. Выявлены закономерности формирования закладочного массива с использованием активированных отходов вольфрамо-молибденового производства, включающие логарифмически зависимости прочности твердеющей смеси от цементно-хвостового соотношения и сроков твердения.

8. Доказано, что технологии отработки мощных крутопадающих месторождений сплошными камерными системами разработки с закладкой выработанного пространства путем формирования стенок очистных камер с уклоном на рудный массив в зонах нарушенных пород с недостаточной несущей способностью позволяют повысить эффективность и безопасность выемки участков руд нарушенных совместным влиянием открыто-подземных горных работ.

9. Обосновано, что сплошная камерная система разработки с наклоном стенок камер на рудный массив обеспечивает снижение потерь и разубоживания руды соответственно на 4-5% и 5-7%, за счет повышения устойчивости искусственного и рудного массивов в рамках единой геомеханической системы.

10. Установлено, что использование рекомендуемой технологии отработки Тырнаузского месторождения при производственной мощности рудника 1,5 млн. тонн в год позволит получить экономический эффект в размере более 393 млн. руб. по сравнению с проектной технологией.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

статьи в периодических изданиях, рекомендованных ВАК

1. Дедегкаева, Н.Т. Практика применения малозатратных технологий погашения выработанного пространства при добыче руд / Гарифулина И.Ю., Зассеев И.А., Дедегкаева Н.Т., Габараев Г.О. Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2021. – №4. – С. 304–312.

2. Дедегкаева, Н.Т. Месторождениям Тырнауза – современную технологию разработки / Голик В.И., Габараев О.З., Габараева А.О., Дедегкаева Н.Т.// Устойчивое развитие горных территорий. – 2021. – Т. 13. №3 (49). – С. 416–425.

3. Дедегкаева, Н.Т. Технология отработки вольфрамо–молибденовых руд Слепой залежи Тырнаузского месторождения / Габараев О.З., Дедегкаева

Н.Т., Габараев Г.О.// Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2022. – №1. – С. 92–102

4. Дедегкаева, Н.Т. Ресурсосберегающая технология утилизации хвостов обогащения руд цветных металлов / Голик В.И., Дедегкаева Н.Т., Кожиев Х.Х., Белодедов А.А. // Устойчивое развитие горных территорий. – 2023. – Т. 15. №2 (56). – С. 225–233.

в прочих изданиях

5. Дедегкаева, Н.Т. Определение показателей разубоживания руды твердеющей закладкой при камерных системах разработки / Габараев О.З., Сахнов А.В., Дедегкаева Н.Т., Гашимова З.А. // Заметки ученого. – 2023. – №7. – С. 54–58.

6. Дедегкаева, Н.Т. Система разработки закладкой выработанного пространства с наклоном стенок камер на рудный массив / Гарифулина И.Ю., Дедегкаева Н.Т., Зассеев И.А., Габараев Г.О.// Нанотехнологии: наука и производство. – 2022. – №2. – С. 15–19.

7. Дедегкаева, Н.Т. Обоснование параметров реконструкции горизонтальных горных выработок / Абдулхалимов А.Г., Габараев Г.О., Дедегкаева Н.Т. // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2021. – №11. – С. 40–45.

8. Дедегкаева, Н.Т. Оценка возможности использования хвостов Тырнаузского хвостохранилища для закладки выработанного пространства / Дедегкаева Н.Т., Габараев Г.О., Версилов С.О.// Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2021. – №12. – С. 72–76.

9. Дедегкаева, Н.Т. Параметры обнажений стенок камер при системах разработки с твердеющей закладкой / Зассеев И.А., Гарифулина И.Ю., Дедегкаева Н.Т., Гашимова З.А.// Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2021. – №12. – С. 89–93.

10. Дедегкаева, Н.Т. Исследование состояния закладочного массива при различных условиях нагружения / Зассеев И.А., Гарифулина И.Ю., Березов А.К., Дедегкаева Н.Т. // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2021. – №13. – С. 26–30.

11. Дедегкаева, Н.Т. К концепции шахтного подземного выщелачивания металлов / Габараев О.З., Габараева А.О., Дедегкаева Н.Т., Болотбеков Ж. // Горные науки и технологии. – 2020. – Т. 5. №4. – С. 349–357.

12. Дедегкаева, Н.Т. Моделирование процесса предконцентрации рудной массы / Кожиев Х.Х., Гарифулина И.Ю., Габараева А.О., Дедегкаева Н.Т. // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2020. – №9. – С. 92–96.