

*На правах рукописи*

**Анисимов Кирилл Артемович**



**ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОТРАБОТКИ  
ПОДКАРЬЕРНЫХ ЗАПАСОВ АЛМАЗОНОСНЫХ  
МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОД ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНОЙ  
ПОДУШКОЙ В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА**

*Специальность 2.8.8. Геотехнология, горные машины*

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

Санкт-Петербург – 2023

Диссертация выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет».

**Научный руководитель:**

доктор технических наук, профессор

*Зубов Владимир Павлович*

**Официальные оппоненты:**

*Качурин Николай Михайлович*

доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тулский государственный университет», кафедра геотехнологий и строительства подземных сооружений, заведующий кафедрой;

*Трофимов Андрей Викторович*

кандидат технических наук, ООО «Институт Гипроникель», лаборатория геотехники, заведующий лабораторией.

**Ведущая организация** – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова», г. Новочеркасск.

Защита диссертации состоится **18 сентября 2023 г. в 15:30** на заседании диссертационного совета ГУ.2 Горного университета по адресу: 199106, г. Санкт-Петербург, 21-я В.О. линия, д.2, **аудитория № 1171а.**

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Горного университета и на сайте [www.spmi.ru](http://www.spmi.ru).

Автореферат разослан 18 июля 2023 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ  
диссертационного совета



КОВАЛЬСКИЙ  
Евгений Ростиславович

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

**Актуальность темы исследования.** К числу перспективных технологий отработки подкарьерных запасов кимберлитовых трубок относится технология, включающая ведение подземных горных работ под защитой подвижных массивов (предохранительных подушек), формируемых из разрушенной руды, расположенной выше зоны ведения очистной выемки. Данная технология широко применяется при отработке кимберлитовых трубок и других месторождений полезных ископаемых в Канаде (Экати), Южной Африке (Кимберли, Финш и пр.), Швеции (Кируна).

Важнейшим объектом АК «АЛРОСА» является подземный рудник «Удачный». Ведение горных работ осуществляется в сложных горно-геологических и климатических условиях. Использование предохранительных подушек обуславливается необходимостью нейтрализации негативного влияния обрушенных пород в выработанном пространстве на ведение подземных горных работ. В условиях Крайнего Севера наличие предохранительной подушки позволяет изолировать подземные выработки от низких температур (до  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) на земной поверхности. Однако в настоящее время отсутствуют известные решения, позволяющие на завершающем этапе ведения горных работ безопасно извлечь значительные объемы запасов алмазосодержащей руды (более 10 млн. тонн), расположенные в подушках Западного и Восточного рудных тел (ЗРТ и ВРТ) трубки «Удачная».

**Степень разработанности темы исследования.** Существенный вклад в совершенствование технологий разработки алмазоносных рудных тел внесли такие крупные организации, как Институт «Якутнипроалмаз», ИГД УрО РАН, ИГД Севера им. Н.В. Черского СО РАН, ОАО «Уралгипроруда», Институт «Гипроникель», и другие проектные и научные организации. На современное развитие технологий отработки кимберлитовых

вых рудных тел значительное влияние оказали такие специалисты, как Ю.Г. Антипин, И.Б. Бокий, А.С. Гладков, А.В. Дроздов, О.В. Зотеев, Д.Р. Каплунов, А.А. Коваленко, Н.Н. Насибуллин, И.В. Никитин, А.М. Никольский, И.Н. Савич, Е.В. Серебряков, А.А. Смирнов, И.В. Соколов, М.В. Тишков, Ю.А. Хохолов, L. Clark, H. Dalton, J. Jakubec, B.A. Kjarsgaard, D.G. Pearson и другие. Практический опыт разработки алмазонасных рудных тел подземным способом в России был получен с введением в эксплуатацию таких подземных рудников, как «Мир», «Интернациональный» и «Айхал».

К настоящему времени достаточно полно рассмотрены вопросы, связанные с переходом от открытых горных работ ко подземным. Разработаны технологии формирования рудных предохранительных подушек, разработаны методики определения их мощности (толщины) по различным факторам. Вместе с тем не исследованы вопросы, связанные с обоснованием технологии, обеспечивающих безопасное извлечение руды из предохранительной подушки на завершающем этапе отработки алмазосодержащей трубки. Следует отметить, что в условиях трубки «Удачная», в предохранительной подушке содержится 10,67 млн. тонн алмазосодержащей руды.

Содержание диссертации соответствует **паспорту научной специальности** по пунктам п.1 «Научные основы создания и развития технологий и оборудования для комплексного освоения и сохранения недр в различных горно-геологических и природно-климатических условиях», п.5 «Способы вскрытия шахтных (карьерных) полей, их подготовки, системы разработки, комплексная механизация, технологические процессы добычи твердых полезных ископаемых», п.11 «Прогноз развития технологических и опасных геомеханических и газодинамических процессов при строительстве, эксплуатации, консервации и ликвидации предприятий горной промышленности и подземных сооружений».

**Объект исследования.** Технологические схемы разработки подкарьерных запасов с использованием предохранительных подушек.

**Предмет исследования.** Минимально необходимая толщина предохранительной подушки и факторы, влияющие на данный параметр.

**Цель работы.** Обоснование технологии отработки подкарьерных запасов с использованием предохранительных подушек, обеспечивающей безопасное извлечение руды из предохранительной подушки на завершающем этапе отработки алмазоносной трубки.

**Идея работы.** К моменту завершения отработки основных запасов кимберлитовой трубки над предохранительной рудной подушкой необходимо создать породную предохранительную подушку с параметрами, обеспечивающими безопасную выемку алмазосодержащей руды из предохранительной рудной подушки.

Поставленная в диссертационной работе цель достигается посредством решения нижеуказанных **задач** исследований:

1. Определение перспективных направлений совершенствования технологий разработки, а также основных проблем при отработке подкарьерных запасов алмазоносных месторождений полезных ископаемых.

2. Исследование влияния горнотехнических и организационных факторов на процесс деформирования предохранительной подушки при подземной отработке подкарьерных запасов алмазоносных месторождений полезных ископаемых.

3. Определение минимально необходимой толщины предохранительной подушки при отработке подкарьерных запасов в условиях рудника «Удачный».

4. Обоснование технологии, обеспечивающей на завершающем этапе отработки трубки безопасное извлечение алмазосодержащей руды из предохранительной подушки.

### **Научная новизна работы:**

1. Установлена зависимость изменения толщины предохранительной рудной подушки от расстояния между фронтами очистных работ в смежных подэтажах.

2. Установлены закономерности изменения толщины предохранительной подушки при различной последовательности отработки камер в пределах подэтажей.

### **Теоретическая и практическая значимость работы:**

1. Обоснованы требования к технологическим параметрам рекомендованной технологической схемы отработки подкарьерных запасов алмазосодержащих трубок.

2. Использование разработанной технологии отработки подкарьерных запасов алмазосодержащих трубок позволяет безопасно извлечь руду, содержащуюся в предохранительной подушке, на завершающей стадии отработки месторождения.

3. Результаты диссертационных исследований применены в проектной и экспертной работе АО «Гипроцветмет», что подтверждается актом об использовании результатов кандидатской диссертации от 26.04.2023 г.

**Методология и методы исследования.** Для решения задач исследования применён комплекс методов исследований, включающий анализ теории и практики разработки алмазосодержащих месторождений; физическое моделирование процессов выпуска руды и опускания предохранительной подушки.

### **На защиту выносятся следующие положения:**

1. Использование известных технологий отработки подкарьерных запасов алмазосодержащих трубок с использованием защитных предохранительных подушек не обеспечивает безопасного извлечения на завершающем этапе отработки месторождения из предохранительных подушек алмазосодержащей руды, масса которой составляет, как правило, миллионы тонн.

2. При использовании известных технологий ведения очистных работ выемка алмазосодержащей руды в пределах

подэтажей приводит к уменьшению толщины предохранительной подушки по сравнению с минимально допустимыми (проектными) значениями на 20-30% и более.

3. Использование разработанной технологии отработки подкарьерных запасов алмазонасных трубок обеспечивает практически полное безопасное извлечение алмазосодержащей руды из предохранительных рудных подушек на заключительном этапе разработки месторождения.

**Степень достоверности результатов исследования** обеспечивается применением в исследованиях системного подхода к изучению достоинств и недостатков известных технологий разработки алмазонасных месторождений, анализом результатов исследований по теме диссертации ученых из различных стран, удовлетворительным совпадением результатов физического моделирования с классическими теориями.

**Апробация результатов.** Основные положения и результаты работы докладывались на следующих семинарах и конференциях: XXV Всероссийская конференция-конкурс студентов и аспирантов «Актуальные проблемы недропользования», апрель 2021 г., г. Санкт-Петербург; XVII Международный форум-конкурс студентов и молодых ученых «Актуальные проблемы недропользования», июнь 2021 г., г. Санкт-Петербург; Международная научно-практическая конференция "Горнодобывающая промышленность в 21 веке: вызовы и реальность", сентябрь 2021 г., г. Мирный (Якутия).

**Личный вклад автора** заключается в определении задач и методов исследований в области подземной разработки алмазонасных месторождений; проведении состояния подземных горных работ на месторождениях АК «АЛРОСА»; получении аналитических зависимостей; формулировании защищаемых положений; анализе результатов лабораторных исследований; подготовке публикаций по теме исследований.

**Публикации.** Основные результаты диссертационных исследований опубликованы в 5 печатных работах, в том числе в 3 статьях - в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (далее – перечень ВАК), в 2 статьях - в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Получен патент на изобретение.

**Структура работы.** Диссертация состоит из оглавления, введения, 4 глав с выводами по каждой из них, заключения, списка литературы, включающего 156 наименований, списка иллюстративного материала и 4 приложений. Диссертация изложена на 207 страницах машинописного текста, содержит 60 рисунков и 10 таблиц.

**Благодарности.** Автор выражает глубокую благодарность и искреннюю признательность доктору технических наук, профессору Зубову Владимиру Павловичу за помощь, оказанную при работе над диссертацией, сотрудникам кафедры РМПИ и лаборатории моделирования Горного университета за помощь при подготовке диссертации и за помощь в организации и проведении лабораторных исследований.

#### **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность темы работы, сформулированы цель, задачи работы и научная новизна, раскрыты теоретическая и практическая значимости исследования и изложены основные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** изучено современное состояние проблемы отработки подкарьерных запасов кимберлитовых трубок, представлены результаты анализа применяемых технологий отработки при использовании систем разработки с обрушением руд, рассмотрены их преимущества и недостатки. Сформулированы цель и задачи исследования.



**Во второй главе** приведены результаты выполненных аналитических исследований возможности управляемого перемещения горной массы на предохранительную подушку из подземного пространства породного массива с помощью буровзрывных работ. Проведены лабораторные исследования по изучению плавности опускания подушки и плавности выпуска горной массы, выполнен анализ их результатов.

**В третьей главе** проведен анализ параметров ведения подземных горных работ под предохранительными подушками, описана предлагаемая технология выемки полезного ископаемого под подушками, проанализирована возможность её внедрения и даны рекомендации по выпуску руды для обеспечения плавности опускания предохранительной подушки.

**В четвертой главе** обоснована область использования и выполнена экономическая оценка разработанной технологии.

Основные результаты исследования отражены в следующих защищаемых положениях:

**1. Использование известных технологий отработки подкарьерных запасов алмазонасных трубок с использованием защитных предохранительных подушек не обеспечивает безопасного извлечения на завершающем этапе отработки месторождения из предохранительных подушек алмазосодержащей руды, масса которой составляет, как правило, миллионы тонн.**

Отработка подкарьерных запасов кимберлитовых трубок требует решения задачи по извлечению руды без существенного негативного влияния самопроизвольного обрушения пород в выработанном пространстве. Решение обеспечивается разработкой способов создания защитного барьера между карьером и подземным пространством рудника. Одним из вариантов является создание предохранительного разрушенного подвижного массива горных пород (предохранительной подушки), который будет защищать расположенные ниже горные

выработки и плавно опускаться вслед за понижением фронта горных работ. Однако это ведет к естественному обнажению окружающих горных массивов, которые будут постепенно разрушаться и обрушаться.

Кимберлитовая трубка «Удачная» включает два самостоятельных рудных тела – Восточное и Западное (Рисунок 1), которые разделяет массив пустых пород. Рудник «Удачный» ведёт горные работы с использованием систем разработки с одностадийным подэтажным (этажным) принудительным обрушением и площадным выпуском руды под предохранительными подушками.

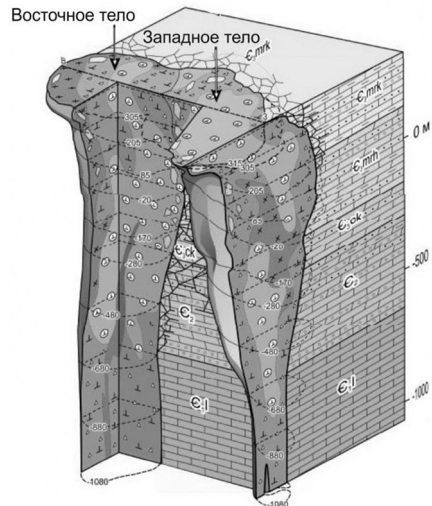


Рисунок 1 - Кимберлитовая трубка «Удачная»  
(автор: С.И. Костровицкий)

Множественные зоны трещиноватости, ослабления и дробления пород затрудняют ведение горных работ. По мере увеличения глубины горных работ вероятность самопроизвольных обрушений пород в выработанном пространстве будет возрастать. По предварительным оценкам, объемы обрушающихся одиночных породных блоков из межрудного породного

массива могут достигать до 2600 тонн, а высота падения породных блоков в выработанном пространстве может составлять до 540 метров.

Для формирования защитной подушки над ЗРТ на дне карьера до начала подземных работ были размещены разрыхленные породы объемом около 2,4 млн м<sup>3</sup>, на ВРТ был обрушен рудный борт карьера. Это позволило создать на начальном этапе отработки предохранительную подушку толщиной 30 м. Определение минимально необходимой толщины подушки осуществлялось по следующим факторам: воздействия удара пород, обрушившихся на подушку; действия на персонал воздушной волны, возникшей в подземных горных выработках при обрушении пород; исключения прямых аэродинамических связей подземных выработок с карьерным пространством, приводящих к утечкам воздуха; обеспечения температурной изоляции пространства рудника от пространства карьера. Объем горной массы, недостающий для формирования предохранительной подушки с проектной толщиной, формируют в процессе ведения очистных работ путем оставления (недовыпуска) отбитой алмазосодержащей руды. В соответствии с проектными решениями к окончанию отработки запасов I очереди (абс. глубина работ ок. 950 м) рекомендуемая толщина предохранительных подушек возрастает и должна составлять не менее 65 м. При этой толщине, масса алмазосодержащей руды, находящейся в защитных подушках ВРТ и ЗРТ составит около 5,89 и 4,78 млн. тонн (Рисунок 2). С понижением фронта горных работ диаметры рудных тел значительно уменьшаются и объемы руды в подушках снижаются, несмотря на увеличение их толщины. В то же время, отсутствуют известные решения, обеспечивающие безопасную и полную отработку руды, находящейся в предохранительных подушках на завершающей стадии отработки трубки. Принимая во внимание низкую устойчивость породных обнажений вмещающего мас-

сива в выработанном пространстве и высокую вероятность динамических обрушений больших масс пород на защитные подушки, при продолжении горных работ в соответствии с ранее принятыми проектными решениями будут неизбежны значительные сложности в отработке алмазосодержащей руды, содержащейся в предохранительных подушках.

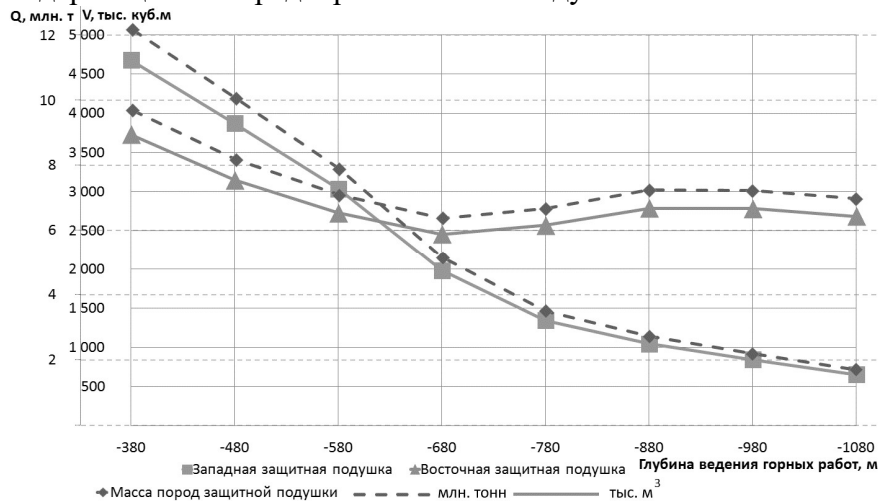


Рисунок 2 - Проектные объемы алмазосодержащей руды, заключенные в подушках Восточного и Западного рудных тел.

Этот вывод объясняется тем, что выемка руды из защитных подушек на завершающем этапе отработки трубки приведет к уменьшению их толщины по сравнению с минимально допустимыми проектными значениями. Предохранительные подушки с толщиной менее минимально допустимой не будут выполнять соответствующие защитные функции по вышеуказанным факторам. Следовательно, при продолжении горных работ, выпуск руды из предохранительных подушек на завершающей стадии работы рудника «Удачный» не может быть осуществлен по условиям обеспечения безопасности. Данное обстоятельство указывает на то, что при применяемой

системе разработки к концу выемки запасов трубки «Удачная» неизбежны потери алмазосодержащей руды, превышающие 10,67 млн. тонн.

**2. При использовании известных технологий ведения очистных работ выемка алмазосодержащей руды в пределах подэтажей приводит к уменьшению толщины предохранительной подушки по сравнению с минимально допустимыми (проектными) значениями на 20-30% и более.**

Для исследования процесса ведения подземных горных работ под защитой предохранительных подушек был проведен ряд экспериментов на блочных моделях в лабораторных условиях (Рисунок 3), имитирующих условия подземной разработки кимберлитовой трубки системами разработки с обрушением руд с опусканием породной подушки (Рисунок 4).

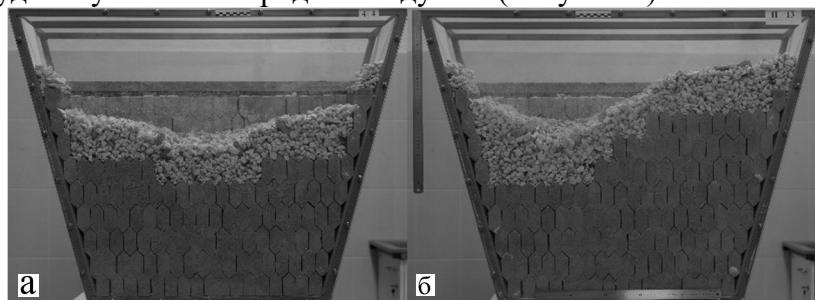


Рисунок 3 - Блочная модель для лабораторных исследований процесса выпуска алмазосодержащей руды из защитных рудных подушек: а – эксперимент с выпуском руды от центра к краям, один подэтаж в отработке; б - эксперимент с выпуском руды от краев рудного тела к центру, три подэтажа в отработке.

Результаты этих исследований позволяют сформулировать следующие основные выводы, позволяющие скорректировать технологии выпуска руды из защитных подушек на заключительной стадии:

- параметры высоты этажа и подэтажа, ширина вынимаемой панели, порядок выемки запасов и другие параметры

вливают на процесс опускания подушки, вплоть до появления опасных разрывов сплошности подушки; толщина подушки незначительно влияет на её плавное опускание;

- минимально необходимая толщина предохранительной подушки по фактору «безопасность» зависит от глубины ведения работ.

- одновременная отработка подэтажей с определенным расстоянием между фронтами очистных работ в подэтажах приводит к формированию в подушках областей с уменьшенной (по сравнению с проектной) толщиной подушки. Наличие таких областей по существу свидетельствует о том, что горные работы ведутся с повышенной опасностью.

Уменьшение толщины защитной подушки в процессе отработки подэтажей необходимо учитывать при оценке утечек воздуха, нарушений температурного режима рудника, а также опасности внезапных труднопрогнозируемых обрушений пород в выработанном пространстве. Так, для условий рудника «Удачный» были получены результаты, демонстрирующие уменьшение толщины подушки на 20-30% от проектных значений (Рисунок 4).

**3. Использование разработанной технологии отработки подкарьерных запасов алмазосодержащих трубок обеспечивает практически полное безопасное извлечение алмазосодержащей руды из предохранительных рудных подушек на заключительном этапе разработки месторождения.**

При разработке мероприятий по снижению потерь алмазосодержащей руды в качестве базового принято следующее положение. При фактически сложившейся технологической схеме отработки трубки «Удачная», в предохранительных подушках содержится более 10,67 млн. тонн алмазосодержащей руды. Выпуск руды из предохранительных подушек на завершающей стадии отработки ВРТ и ЗРТ по условиям обеспечения

безопасного ведения горных работ возможен при соблюдении неравенства (1):

$$m \geq \max (m_1, m_2), \quad (1)$$

где  $m$  – минимально допустимая толщина рудной предохранительной подушки на завершающем этапе отработки рудного тела;  $m_1$  – минимально допустимая толщина подушки по фактору исключения опасных динамических нагрузок на предохранительную подушку при обрушениях и свободном падении масс пород в выработанном пространстве;  $m_2$  – минимально допустимая толщина защитной подушки по фактору исключения опасных перепадов давлений и воздушных ударов при обрушениях и свободном падении масс пород в выработанном пространстве.

В соответствии с этим неравенством, возможность выпуска запасов руды, заключенной в предохранительных подушках, возможно осуществить за счёт внедрения нового технического решения. К моменту завершения отработки ВРТ и ЗРТ тел над рудной защитной подушкой 8 (Рисунок 5) рекомендуется дополнительно создать породную подушку 9.

Толщину породной подушки  $h$  определяют из условия (2):

$$h \geq \max (h_1, h_2), \quad (2)$$

где  $h$  - минимально необходимая толщина породной защитной подушки;  $h_1$  - минимально допустимая толщина породной защитной подушки по фактору исключения опасных динамических нагрузок при обрушениях и свободном падении масс пород в выработанном пространстве;  $h_2$  - минимально допустимая толщина породной защитной подушки по фактору исключения опасных перепадов давлений и воздушных ударов при обрушениях и свободном падении масс пород в выработанном пространстве.

Наиболее технологичным и легко реализуемым является вариант создания защитной породной подушки (Рисунок 5, а),

включающий отсыпку на дне карьера 3 породы 7а, общий объем которой принимают равным планируемому объему породной защитной подушки. При отсутствии породы в объеме, достаточном для создания породной подушки, в процессе отработки подкарьерных запасов (Рисунок 5, а) за счет невыпуска руды толщину рудо-породной подушки увеличивают до размера, обеспечивающего безопасное ведение очистных работ. Толщину защитной породной подушки увеличивают до необходимого значения  $h$  за счет принудительного управляемого обрушения с использованием буровзрывных работ неустойчивых породных массивов в выработанном пространстве.

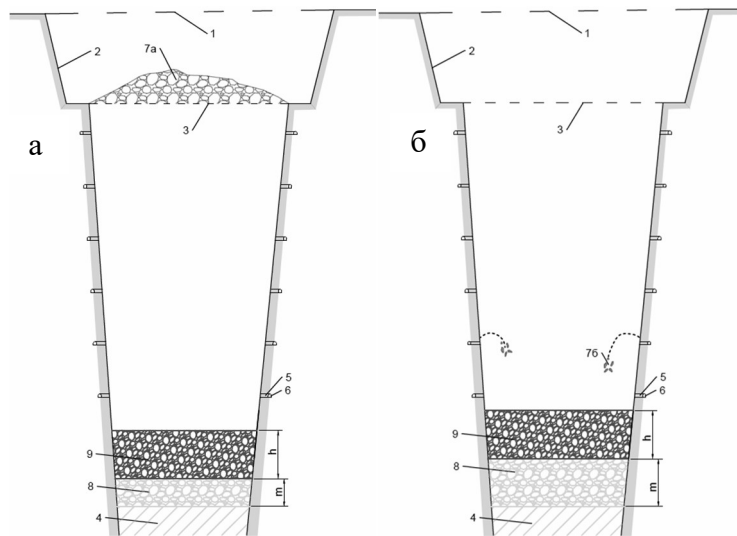


Рисунок 5 - Принципиальные схемы вариантов ресурсосберегающей технологии отработки алмазосодержащих рудных тел под защитными рудными подушками: а – для рудных тел, планируемых к отработке; б – для рудных тел, находящихся в отработке. 1 – земная поверхность; 2 – борта карьера; 3 – дно карьера; 4 – рудное тело; 5 – заезды; 6 – кольцевые штреки; 7а – породный навал; 7б – обрушающаяся порода; 8 – рудная подушка; 9 – породная подушка



Проведение комплекса мероприятий по созданию слоя пустых пород позволяет выполнить условие  $h \geq \max (h_1, h_2)$  при одновременном выполнении условия  $m \geq \max (m_1, m_2)$ , которые определяются силой удара горных пород о подушку и риском образования ударно-воздушных волн. Возможность совместного плавного опускания рудной и породной подушек, а также выпуска алмазосодержащей руды из рудной подушки под защитой вышележащей породной подушки была проверена в лабораторных исследованиях (Рисунок 6).

Следует отметить, что невыполнение требований к минимально допустимой толщине защитных подушек по факторам «исключение прямых аэродинамических связей подземных выработок с карьерным пространством» и «термоизоляция подземных горных работ» может быть нейтрализовано при проведении соответствующих организационно-технических мероприятий, что повлияет в основном на экономические показатели работы рудника.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основе выполненных исследований обоснована технология отработки подкарьерных запасов с использованием предохранительных подушек, обеспечивающая безопасное извлечение алмазосодержащей руды из предохранительной подушки на завершающем этапе отработки алмазонасной трубки.

По результатам выполнения диссертации сделаны следующие выводы и рекомендации:

1. К перспективным технологиям разработки кимберлитовых трубок в сложных геологических и климатических условиях относятся варианты систем разработки с обрушением руд с использованием предохранительных подушек. Трудность безопасного извлечения руды из подушек на завершающей стадии работы рудника является одним из недостатков из-

вестных технологий отработки алмазосодержащих рудных тел с использованием предохранительных рудных подушек. Выпуск руды из подушек приводит к уменьшению их минимально допустимой толщины, определяемой из условия обеспечения безопасности подземных горных работ.

2. В настоящее время неизвестны решения и результаты научных исследований, позволяющие объемы руды, заключенные в предохранительных рудных подушках, безопасно извлечь по факторам: термоизоляция подземных горных работ, исключение аэродинамической связи подземных выработок с поверхностью, опасное действие удара и воздушной волны при обрушении больших масс пород на защитную подушку.

3. Породные обнажения, формируемые в выработанном пространстве при отработке трубки «Удачная», характеризуются низкой устойчивостью, что может приводить к обрушению больших масс пород на предохранительные подушки. Принудительное обрушение данных неустойчивых вмещающих пород в выработанном пространстве следует рассматривать как превентивное мероприятие по предотвращению практически не прогнозируемых опасных динамических обрушений на защитную подушку больших масс пород.

4. Для обеспечения полной выемки алмазосодержащей руды на завершающем этапе отработки месторождения до завершения отработки запасов рудного тела рекомендуется применить разработанную ресурсосберегающую технологию, включающую создание над рудной защитной подушкой породной защитной подушки с рассчитанными параметрами, обеспечивающими безопасную отработку руды, содержащейся в рудной подушке, по факторам термоизоляции подземных горных работ, исключения аэродинамических связей подземных выработок с поверхностью, действия удара и воздушной волны при обрушении пород на защитную подушку.

5. Использование разработанной технологии в условиях трубки «Удачная» позволяет безопасно извлечь более 10,67 млн. тонн алмазосодержащей руды, «законсервированной» в предохранительных рудных подушках.

Исследования по теме настоящей диссертации затрагивают ряд ключевых сфер горнодобывающей отрасли: подземную геотехнологию ведения очистных работ алмазоносных месторождений, организацию работ при выемке подкарьерных запасов алмазоносных месторождений, безопасность труда рабочих при выемке предохранительных подушек. Проблема обеспечения полной выемки алмазосодержащей руды на завершающем этапе отработки месторождения до завершения отработки запасов рудного тела касается не только условий кибмерлитовой трубки «Удачная». В этой связи, результаты исследований могут быть использованы при определении и обосновании параметров подземной геотехнологии отработки алмазоносных месторождений, с применением рудных предохранительных подушек. Тема является перспективной с точки зрения развития эффективных ресурсосберегающих технологий, позволяющих обеспечивать наиболее безопасное и полное извлечение алмазосодержащей руды из предохранительных рудных подушек.

#### **СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

*Публикации в изданиях из Перечня ВАК:*

1. Анисимов, К.А. Геомеханические проблемы при разработке подкарьерных запасов алмазосодержащих месторождений в условиях рудника "Удачный" / К.А. Анисимов // Успехи современного естествознания. – 2020. – № 5. – С. 29-36. – DOI 10.17513/use.37388 (№ 2299 Перечня ред. 25.12.2020).

2. Анисимов, К.А. Организация работ при разработке алмазосодержащих месторождений Крайнего Севера подземным способом / К.А. Анисимов // Вестник Кузбасского

государственного технического университета. – 2021. – № 1(143). – С. 64-72. – DOI 10.26730/1999-4125-2021-1-64-72 (ВАК, № 385 ред.01.03.2021).

3. Zubov, V.P. Ресурсосберегающая технология подземной отработки запасов алмазосодержащих кимберлитовых рудных тел ниже дна карьера под защитной подушкой / В.П. Зубов, К.А. Анисимов // Горный журнал. – 2023. – №4. – С. 23-38. DOI: 10.17580/gzh.2023.04.05. (№ 546 Перечня ред. 30.12.2022 МБДиСЦ СА(pt), Scopus).

*Публикации в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus:*

4. Anisimov, K.A. Substantiation of the method ensuring the safe development of the pit reserves of kimberlite ore deposits in the conditions of the Udachny mine / K. A. Anisimov, V. P. Zubov // E3S Web of Conferences, 266 (2021) 03013 – Saint Petersburg, 2021. – DOI 10.1051/e3sconf/202126603013.

5. Anisimov, K.A. Modern technologies of the development of diamondiferous deposits / Anisimov K.A., Nikiforov A.V. // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University, Geo Assets Engineering. – 2023. – V. 334, № 1. – P. 196-208. DOI 10.18799/24131830/2023/1/3837.

*Патент:*

6. Патент № 2755772 Российская Федерация, МПК E21C 41/00. Способ разработки близкорасположенных алмазосодержащих рудных тел. Заявка № 2021106653. Дата приоритета: 15.03.2021. Дата регистрации: 21.09.2021. Авторы: В.П. Зубов, К.А. Анисимов. Заявитель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет». – 11 с.

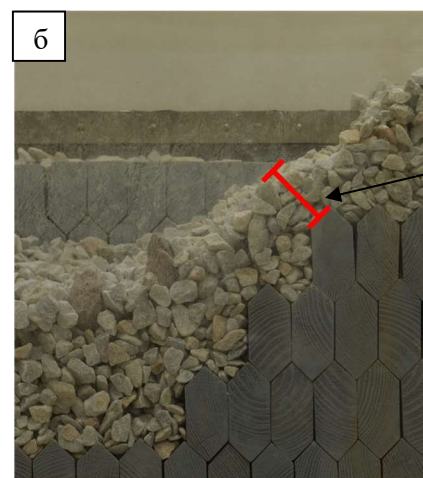
Эксперимент I. Исследование модели с мощностью рудной подушки 50 м: начальное положение (а) и положение после извлечения рудных запасов (б)



Утонение подушки при выпуске горной массы: а – при одновременной отработке двух подэтажей при толщине подушки 30 м; б – при одновременной отработке трех подэтажей при толщине подушки 50 м



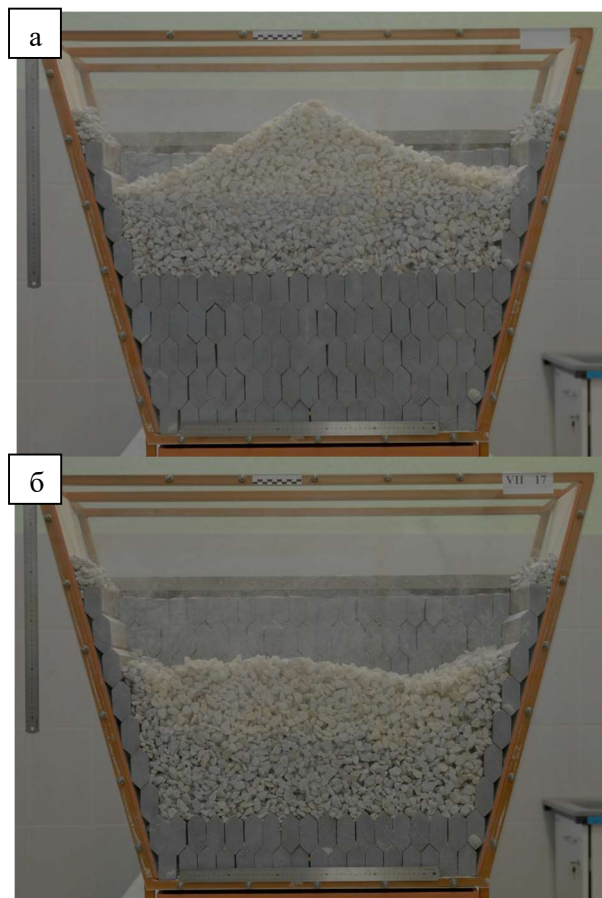
зона минимальной толщины подушки  $h_{\min}=20$  м



зона минимальной толщины подушки  $h_{\min}=32$  м

Рисунок 4 - Проведение лабораторных исследований по изучению процессов опускания предохранительной подушки

Эксперимент II. Исследование модели с рудной и породной подушками: начальное положение (а) и положение после извлечения рудных запасов (б)



Эксперимент III. Исследование модели с рудной и породной подушками, завершающий этап разработки, выпуск рудной подушки: начало выпуска (а), окончание выпуска рудной подушки (б)

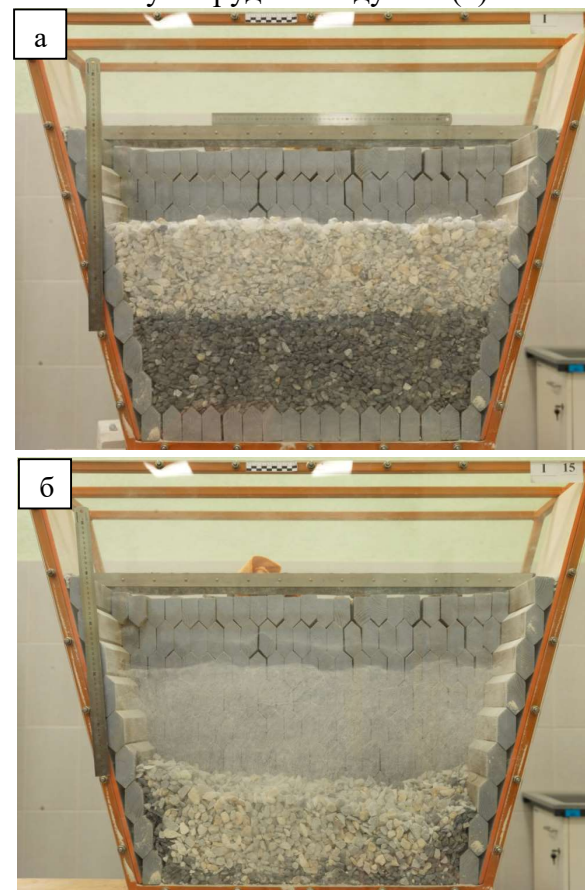


Рисунок 6 - Проведение лабораторных исследований по изучению процессов опускания предохранительной рудной и породной подушек и выпуска рудной подушки