

На правах рукописи

Колганов Артем Владимирович



**РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ УМЕНЬШЕНИЯ
РАЗУБОЖИВАНИЯ РУДЫ ПРИ ОТРАБОТКЕ
МОЩНЫХ ПОЛОГОПАДАЮЩИХ МЕДНО-
НИКЕЛЕВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ С
ВКРАПЛЕННЫМИ РУДАМИ**

Специальность 2.8.8. Геотехнология, горные машины

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

Санкт-Петербург – 2025

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

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор

Зубов Владимир Павлович

Официальные оппоненты:

Белодедов Андрей Алексеевич

доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова», кафедра «Горное дело», заведующий кафедрой;

Кузьмин Сергей Владимирович

кандидат технических наук, общество с ограниченной ответственностью «Сибкор», департамент технических сервисов, начальник управления геомеханики и гидрогеологии.

Ведущая организация - акционерное общество «Научно-исследовательский институт горной геомеханики и маркшейдерского дела - Межотраслевой научный центр ВНИМИ», г. Санкт-Петербург.

Защита диссертации состоится **24 июня 2025 г. в 15:30** на заседании диссертационного совета ГУ.2 Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II по адресу: 199106, г. Санкт-Петербург, 21-я В.О. линия, д.2, **аудитория № 3321**.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II и на сайте www.spmi.ru.

Автореферат разослан 24 апреля 2025 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
диссертационного совета



КОВАЛЬСКИЙ
Евгений Ростиславович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В условиях истощения ресурсов, обеспечивающих высокую экономическую эффективность предприятия, горнодобывающие компании вынуждены вовлекать в отработку ресурсы с более низким содержанием полезных компонентов. Это требует особого внимания к факторам, оказывающим отрицательное влияние на показатели разубоживания руды и потерь балансовых запасов, от значений которых существенно зависят экономические показатели горного предприятия и, как следствие, его конкурентоспособность и жизнеспособность.

В качестве базового предприятия при проведении диссертационных исследований принят рудник «Октябрьский», фактическое состояние и история изменения технологической схемы которого позволяет производить объективный ретроспективный анализ влияния основных горно-геологических и горнотехнических факторов на разубоживание добываемых руд. В настоящее время осуществляется добыча богатых, медистых и вкраплённых руд западного фланга Октябрьского месторождения.

Наибольшее содержание полезного компонента (среднее значение 3,8%) встречается в богатых рудах, минимальное (среднее значение 0,98%) – во вкрапленных рудах. С отработки богатых руд, обеспечивающих максимальные значения технико-экономических показателей рудника за счет высокого содержания в руде полезных компонентов, в 1969 году начались горные работы на руднике «Октябрьский». Следствием интенсивной отработки богатых руд явилось быстрое снижение их балансовых запасов, что потребовало в 1992 году вовлечения в отработку медистых руд, а в 2010 году - вкрапленных руд.

Результаты анализа практического опыта ведения горных работ на руднике «Октябрьский» свидетельствуют о том, что при применяемом варианте камерной системы разработки с закладкой выработанного пространства и сложившейся технологической схеме рудника вовлечение в отработку вкрапленных руд оказывает существенное отрицательное влияние на разубоживание добываемой руды. В настоящее время горная масса, поступающая на обогатительную фабрику, характеризуется коэффициентами

разубоживания до 30% и более при проектных показателях разубоживания вкрапленных руд – 10-12%.

Степень разработанности темы исследования.

Существенный вклад в создание эффективных технологий отработки мощных пологопадающих медно-никелевых месторождений и способов уменьшения разубоживания добываемых руд внесли такие организации как: ФГБУН ФИЦ КНЦ РАН, ФГБУН ИПКОН РАН, ООО «Институт Гипроникель», ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», ФГАОУ ВО «ННТУ «МИСиС», АО «ВНИИМИ» и другие.

На современное состояние применяемых камерных систем разработки с закладкой выработанного пространства, а также методов определения их параметров значительное влияние оказали результаты исследований Д.Р. Каплунова, М.В. Рыльниковой, И.И. Айнбиндера, Д.М. Казикаева, А.Б. Макарова, А.А. Еременко, Д.В. Сидорова, В.А. Еременко, А.Г. Протосени, В.Л. Трушко, А.В. Трофимова, А.Е. Румянцева, В.П. Марысюка, N.R. Barton, Z.T. Bieniawski, Y. Potvin и других российских и зарубежных ученых.

Вместе с тем недостаточно изученными являются вопросы, связанные с обоснованием параметров камерной системы разработки и снижением разубоживания добываемой руды при ведении очистных работ в подработанных мощных пологозалегающих залежах вкрапленных руд.

Объект исследования. Камерные системы разработки мощных залежей вкрапленных руд с закладкой выработанного пространства.

Предмет исследования. Процессы разубоживания добываемой руды при ведении очистных работ в подработанных залежах вкрапленных руд.

Цель работы. Обоснование параметров камерной системы разработки с закладкой выработанного пространства, обеспечивающих снижение разубоживания добываемой руды при ведении очистных работ в подработанных мощных залежах вкрапленных руд.

Идея работы. Для снижения разубоживания добываемой руды при ведении очистных работ в подработанных мощных залежах вкрапленных руд параметры камерной системы разработки и технологии создания закладочного массива необходимо принимать с

учетом устойчивости стенок камер первой очереди, а также ориентации осей очистных камер относительно систем трещин техногенного происхождения, сформированных при подработке залежей вкрапленных руд.

Для достижения поставленной в работе цели решались следующие **задачи**:

1. Выявление особенностей горно-геологических и горнотехнических условий отработки залежей вкрапленных руд на рудниках Талнахского рудного узла;

2. Установление факторов, оказывающих влияние на разубоживание добываемых вкрапленных руд при ведении очистных работ на ранее подработанных участках;

3. Определение геомеханических и технологических факторов, влияющих на устойчивость стенок очистных камер при отработке подработанных залежей вкрапленных руд;

4. Определение параметров основных систем трещин в залежах вкрапленных руд на подработанных и не подработанных участках;

5. Разработка технологии выемки ранее подработанных залежей вкрапленных руд, позволяющих уменьшить их разубоживание при использовании варианта камерной системы разработки, применяемого на руднике «Октябрьский»;

6. Оценка области рационального использования разработанных рекомендаций по снижению разубоживания добываемых вкрапленных руд на рудниках Талнахского рудного узла.

Научная новизна:

1. Установлена зависимость высоты очистных камер от параметров нарушенности горного массива, формируемой в подработанных залежах вкрапленных руд, и технологии закладки выработанного пространства при отработке нижерасположенных залежей богатых руд;

2. Установлена зависимость объемов полостей, образовавшихся при вывалах руды из стенок очистных камер первой очереди, пройденных в подработанной залежи вкрапленных руд, от высоты камер и ориентации трещин техногенного происхождения в рудном массиве относительно направления проходки камер;

3. Установлена зависимость высоты распространения области повышенной трещиноватости в подработанном массиве от вынимаемой мощности залежи богатых руд.

Соответствие паспорту специальности

Содержание диссертации соответствует паспорту научной специальности 2.8.8. Геотехнология, горные машины по пункту 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.7. Способы управления состоянием подрабатываемых породных массивов, исключая критические деформации земной поверхности и опасные проявления горного давления при разработке месторождений твердых полезных ископаемых и освоении подземного пространства, в том числе с использованием крепей различных конструкций.

Теоретическая и практическая значимость:

1. Доказана гипотеза о существенной зависимости разубоживания вышерасположенных добываемых вкрапленных руд от параметров системы разработки и технологии закладки выработанных пространств, применяемых при выемке нижерасположенных залежей богатых руд.

2. Обоснованы технологические параметры камерной системы разработки при ведении очистных работ в подработанных залежах вкрапленных руд, а также требования к технологии закладочных работ, при использовании которых достигается снижение коэффициента разубоживания добываемой руды в условиях рудника «Октябрьский» не менее, чем в 2,0-2,5 раза.

3. Результаты диссертационных исследований используются в проектных и экспертных работах, выполняемых ООО «Институт Гипроникель» для предприятий Талнахского рудного узла, что подтверждается актом об использовании результатов кандидатской диссертации от 12.12.2024 г.

Методология и методы исследования. Исследования проводились с использованием комплексного метода, включающего: ретроспективный анализ причин изменения разубоживания добываемых руд в различных горно-технических ситуациях; производственные наблюдения за процессами деформирования и обрушения руд в очистных камерах; анализ полученных данных с

использованием методов математической статистики; аналитические исследования влияния геологических и горнотехнических факторов на разубоживание добываемых вкрапленных руд.

На защиту выносятся следующие положения:

1. При реализации применяемого на руднике «Октябрьский» варианта камерной системы разработки с закладкой выработанного пространства твердеющими материалами минимальные значения коэффициента разубоживания (10-12%) добываемой вкрапленной руды, predetermined геологическим строением рудных тел, могут быть достигнуты только при отработке первичных камер, в боках которых расположен рудный массив или рудные целики.

2. К числу факторов, оказывающих наиболее существенное влияние на разубоживание вкрапленных руд (до 30% и более) относятся: опережающая выемка нижерасположенных запасов богатых сульфидных руд; ориентация осей очистных камер относительно направлений развития трещин, сформировавшихся в горном массиве при отработке нижерасположенных залежей богатых руд; высота первичных камер при отработке вкрапленных руд; технология закладки камер, пройденных при отработке богатых руд.

3. Использование при выемке подработанных запасов вкрапленных руд камерной системы разработки с рекомендуемыми параметрами (высота камеры 7-25 м, проходка камер в направлении с востока на запад, азимуты падения стенок камер 0 и 180 градусов) в сочетании с рекомендуемой двустадийной технологией закладочных работ в камерах при отработке залежей богатых руд позволяет снизить величину коэффициента разубоживания вкрапленных руд в условиях рудника «Октябрьский» не менее чем в 2-2,5 раза.

Степень достоверности результатов исследования обеспечивается применением комплексного метода, включающего анализ результатов аналогичных исследований учеными из различных стран, использование большого массива статистических данных о нарушенности горного массива, использование апробированных методов оценки устойчивости горных выработок (Мэтьюза-Потвина и др.), подтверждением основных выводов и рекомендаций данными производственных исследований и экспертными оценками специалистов.

Апробация результатов. Основные результаты диссертационных исследований докладывались на следующих семинарах и конференциях: XVIII Международный форум-конкурс студентов и молодых ученых «Актуальные проблемы недропользования», г. Санкт-Петербург 2022 г., Конференция пользователей ПО «тНавигатор», г. Санкт-Петербург, 2023 г., Конференция пользователей ПО «тНавигатор», г. Санкт-Петербург 2024 г., XX всероссийская конференция-конкурс студентов выпускного курса и аспирантов «Актуальные проблемы недропользования», г. Санкт-Петербург, 2024 г.

Личный вклад автора заключается в постановке цели и задач исследования; в обосновании методов исследования подработанных массивов горных пород; расчетах устойчивых параметров конструктивных элементов очистных выработок, пройденных по вкрапленным рудам; установлении зависимости разубоживания добываемых вкрапленных руд от параметров системы разработки; формулировании защищаемых положений, проведении и анализе результатов шахтных исследований, подготовке публикаций по теме исследования.

Публикации. Основные результаты диссертационных исследований опубликованы в 4 печатных работах, в том числе в 1 статье - в издании 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 3 статьях - в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Получено 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Структура работы. Диссертация состоит из оглавления, введения, 4 глав с выводами по каждой из них, заключения, списка литературы, включающего 104 наименования, списка иллюстративного материала и 5 приложений. Диссертация изложена на 192 страницах машинописного текста, содержит 132 рисунка и 33 таблицы.

Благодарности. Автор выражает глубокую благодарность доктору технических наук, профессору Зубову Владимиру Павловичу за помощь, оказанную при работе над диссертацией, а также сотрудникам Лаборатории геотехники ООО «Институт

Гипроникель» А.В. Трофимову и А.Е. Румянцеву за помощь в организации и проведении полевых исследований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

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

В первой главе представлены результаты анализа фактического состояния технологической схемы рудника «Октябрьский», сложившегося к текущему моменту времени, представлены результаты анализа геологических особенностей отработки продуктивных залежей в условиях рудника «Октябрьский».

Во второй главе приведены результаты аналитических и полевых исследований влияния горнотехнических и горно-геологических факторов на разубоживание добываемой вкрапленной руды. Сформулирована гипотеза о причинах высоких значений коэффициентов разубоживания вкрапленной руды.

В третьей главе Исследовано влияние горнотехнических факторов на устойчивость очистных камер при отработке залежей вкрапленных руд. Выполнена оценка объемов обрушений руды из стенок очистных камер, пройденных на руднике «Октябрьский».

В четвертой главе приведены рекомендации, обеспечивающие снижение коэффициента разубоживания при выемке подработанных ранее залежей вкрапленных руд в зонах повышенной техногенной трещиноватости, выполнена оценка эффективности рекомендуемых технологических решений.

Основные результаты исследования отражены в следующих защищаемых положениях:

1. При реализации применяемого на руднике «Октябрьский» варианта камерной системы разработки с закладкой выработанного пространства твердеющими материалами минимальные значения коэффициента разубоживания (10-12%) добываемой вкрапленной руды, предопределенные геологическим строением рудных тел, могут быть достигнуты только при отработке первичных камер, в боках которых расположен рудный массив или рудные целики.

На руднике «Октябрьский» при отработке вкрапленных руд в качестве одной из основных систем разработки принята камерная система с закладкой выработанного пространства с камерно-целиковым порядком отработки (доля применения данной системы превышает 70%).

Применение камерно-целикового порядка отработки сопряжено с рядом особенностей, связанных с материалом междукammerного целика. Возможны следующие сценарии: камеры пройдены в рудном массиве, камеры пройдены вприсечку к рудному целику, камеры пройдены вприсечку к закладочному массиву. Комплексным проектом отработки вкрапленных руд на руднике «Октябрьский» коэффициент разубоживания принят на уровне 10-12%, где основной разубоживающей массой являются неизвлекаемый никель и безрудные габбро-долериты.

Анализ данных маркшейдерских съемок очистных камер и состава рудной массы, идущей на обогатительную фабрику, показал, что 10-12% разубоживания достигается только при отработке камеры первой очереди, пройденной в рудном массиве вкрапленных руд. Для камер, пройденных вприсечку с закладочным массивом, значительная доля закладочного материала в процессе ведения очистных работ попадает в контуры отработки. На рисунке 1 представлен характерный пример, иллюстрирующий процесс попадания закладочного материала в контуры отработки камеры второй очереди, объемы закладочного материала могут достигать 10% и более от общего объема камеры. Таким образом, в дополнение к пустым породам примешивается закладочный материал, что в значительной степени увеличивает фактические показатели разубоживания добываемой руды.

2. К числу факторов, оказывающих наиболее существенное влияние на разубоживание вкрапленных руд (до 30% и более) относятся: опережающая выемка нижерасположенных запасов богатых сульфидных руд; ориентация осей очистных камер относительно направлений развития трещин, сформировавшихся в горном массиве при отработке нижерасположенных залежей богатых руд; высота первичных камер при отработке вкрапленных руд; технология закладки камер, пройденных при отработке богатых руд.

Как следует из вышеизложенного, основной причиной поступления закладочного материала в добываемую руду при проходке камер второй очереди вприсечку к закладочному массиву являются существенные отклонения фактических контуров очистных камер первой очереди от проектных. Эти отклонения возникают из-за повышенной нарушенности залежей вкрапленных руд, что подтверждается данными картирования горных выработок и геотехнического описания керна. Согласно методике Бартон для оценки нарушенности горного массива по критерию Q массив вкрапленных руд в условиях рудника «Октябрьский» находится в состоянии: «Очень нарушенный массив», медианные значения критерия Q изменяются в пределах 0,85 - 1,33 (рисунок 2). При рассмотрении фактического состояния горных работ на руднике «Октябрьский» установлено, что более 60% объемов запасов вкрапленных руд на сегодняшний день, являются подработанными.

При оценке степени влияния отработки богатых сульфидных руд на залежи вкрапленных руд выдвинуто предположение о том, что при подработке формируются геомеханические условия, при которых возникают техногенные трещины, для которых характерным будет отсутствие литологического заполнителя внутри трещины. В результате выполненных исследований, включавших структурное описание керна, установлены различия в количестве открытых (без заполнителя) трещин для подработанных и не подработанных участков вкрапленных руд (таблица 1).

Таблица 1 - Сравнение доли открытых (без заполнителя) трещин в подработанных и не подработанных залежах вкрапленных руд

Литологические разности вкрапленных руд	Доля открытых трещин без заполнителя на подработанных участках	Доля открытых трещин без заполнителя на неподработанных участках
GD-O (габбро-долерит оливиновый)	16%	7%
GD-P (габбро-долерит пикритовый)	19%	8%
GD-T (габбро-долерит такситовый)	15%	4%

Высота распространения зоны повышенной трещиноватости при подработке вкрапленных руд сплошными сульфидными рудами

может быть оценена с использованием зависимости (1), полученной в результате анализа данных микросейсмического мониторинга:

$$y = 6 \cdot 10^{-5} \cdot m_{рт}^4 - 0,0037 \cdot m_{рт}^3 + 0,08 \cdot m_{рт}^2 - 0,67 \cdot m_{рт} + 21,84, (1)$$

где: y - высота области повышенной интенсивности трещин в подработанном горном массиве, м.; $m_{рт}$ - вынимаемая мощность залежи сплошных сульфидных руд, м.

Полученная зависимость использовалась для оценки размеров зон с повышенной интенсивностью трещин в залежах вкрапленных руд, также установлено, что значительное увеличение размеров зоны повышенной трещиноватости наблюдается при увеличении вынимаемой мощности рудного тела более 25 м. Это объясняется увеличением объема незаложенных пустот.

При сопоставлении месторасположения полученных зон и фактического состояния очистных камер при отработке вкрапленных руд установлено, что очистные камеры, находящиеся в пределах зон с повышенной интенсивностью техногенных трещин, характеризуются максимальными объемами обрушений руды из боков камер. Повышенный коэффициент разубоживания является следствием нерациональных параметров, применяемых при ведении очистных работ во вкрапленных рудах в условиях повышенной трещиноватости. При этом наиболее важными характеристиками являются высота очистной камеры и ориентация очистной камеры относительно установленных систем трещин.

В результате анализа маркшейдерских данных, содержащих фактические контуры очистных камер, установлено, что объемы вывалов руды из стенок камер первой очереди существенно зависят от высоты очистной камеры, а также от фактора формы (рисунок 3). Алгоритм выполнения данного этапа исследования представлен на рисунке 4.

На основании результатов ориентированного геотехнического бурения выполнен структурный анализ трещиноватости с применением кластерного метода анализа данных. Это, в сочетании с оценкой устойчивости по методике Мэтьюза-Потвина, позволило оценить «благоприятность» ориентации осей фактически пройденных очистных камер на руднике «Октябрьский» относительно основных систем трещин в горном массиве (рисунок 5).

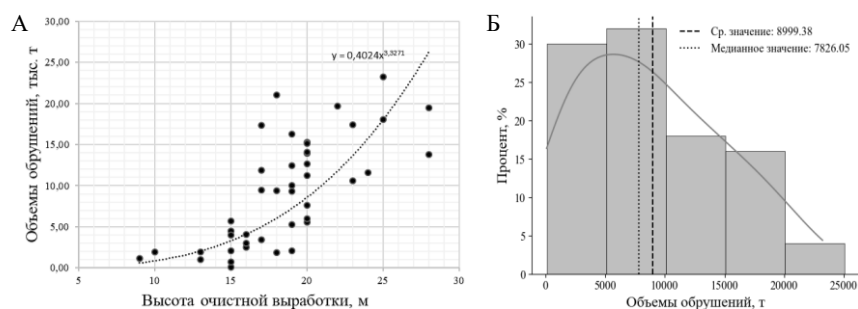


Рисунок 3 - Влияние параметров камеры первой очереди на объемы руды, обрушающейся из ее боков: А) зависимость объемов обрушений руды от высоты очистной камеры; Б) гистограмма распределения объемов обрушений руды из боков камер

На рисунке 6 представлен график, описывающий взаимосвязь показателя В (рейтинговая оценка, применяется при расчете устойчивости конструктивных элементов очистной выработки) с азимутом простирания стенок очистной камеры. Выполненные исследования показали, что ориентация очистных камер с азимутами падения стенок камеры 90^0 и 270^0 соответствует наихудшему сценарию по фактору «устойчивость», параметр В = 0,25.



Рисунок 6 - График зависимости величины параметра В (методика Мэтьюза-Потвина), учитывающего ориентацию систем трещин в залежах вкрапленных руд, от ориентации стенок очистной камеры

Приведенные выше результаты экспериментальных и аналитических исследований подтверждают рабочую гипотезу проф. В.П. Зубова и автора диссертации о том, что к числу факторов,

оказывающих определяющее отрицательное влияние на разубоживание добываемых вкрапленных руд в условиях рудника «Октябрьский», относятся опережающая отработка нижерасположенных залежей богатых сульфидных руд и значительные усадки создаваемого при этом закладочного массива.

3. Использование при выемке подработанных запасов вкрапленных руд камерной системы разработки с рекомендуемыми параметрами (высота камеры 7-25 м, проходка камер в направлении с востока на запад, азимуты падения стенок камер 0 и 180 градусов) в сочетании с рекомендуемой двустадийной технологией закладочных работ в камерах при отработке залежей богатых руд позволяет снизить величину коэффициента разубоживания вкрапленных руд в условиях рудника «Октябрьский» не менее чем в 2-2,5 раза.

Для определения рациональных параметров технологической схемы используются результаты комплексного исследования, описанного ранее, совместно с рейтинговой методикой оценки устойчивости Мэтьюза-Потвина. Критерием устойчивости выбранного метода является показатель N , определяемый по формуле (2):

$$N = Q_{\text{prime}} \cdot A \cdot B \cdot C, \quad (2)$$

где Q_{prime} - показатель нарушенности, ед., A - параметр, определяющий режим действующих напряжений ед., B - параметр ориентации систем трещин, ед., C - фактор гравитации и ориентации камеры, ед.

Для поиска рационального направления проходки очистной камеры необходимо решить следующее выражение (3):

$$B = \max(B_{\text{min}1}, B_{\text{min}2}, B_{\text{min}3} \dots B_{\text{mini}}), \quad (3)$$

где B_{min} — минимальные значения параметра B для 1, 2, 3, i системы трещин.

При изменении ориентации очистных камер в широтном направлении (азимут падения стенок камеры 0^0 и 180^0) показатель B изменяется с 0,25 до 0,85, что увеличивает показатель устойчивости N . С целью отражения всех структурных особенностей вкрапленных руд (на основании рейтингового показателя нарушенности Q) на руднике «Октябрьский», используется геомеханическая блочная модель (ГБМ) разделенная на структурные домены (6 структурных доменов, ограниченных тектоническими нарушениями), а также

учитывающая 2 характерные зоны вкрапленных руд, находящиеся в зоне подработки и вне зоны подработки (рисунок 7).

Применение ГБМ позволяет выполнить расчеты рациональных параметров для различных участков вкрапленных руд. В таблице 2 представлено сопоставление базового варианта и рекомендуемого варианта для 1 структурного домена, с учетом степени нарушенности вкрапленных руд.

Таблица 2 - Сопоставление результатов расчета устойчивости стенок очистной камеры и прогноза объемов обрушений для 1 структурного домена

	Базовый вариант	Рекомендуемый вариант
Структурный домен	Структурный домен 1	
Зона	В зоне влияния подработки	
Медианные значения параметра Q_{prime} , ед.	3,28	
A	0,4	
Параметр B для стенки (по сводной стереограмме)	0,25	0,85
Параметр B для кровли (по сводной стереограмме)	0,2	0,2
Параметр C для стенки камеры	8	
Параметр C для кровли камеры	2	
Параметр N для стенки камеры	2,10	8,92
Параметр N для кровли камеры	0,52	0,52
Высота очистной камеры	24	12
Объемы обрушений, т.	8 990	1 567
Результат оценки устойчивости по Мэтьюзу - Потвину и ELOS	Обрушение (ELOS > 2 м)	Разубоживание с прирезкой меньше 1м (ELOS 1 м)

Рекомендуемые параметры позволяют снизить объемы обрушений и, как следствие, коэффициент разубоживания закладочным материалом для всех структурных доменов на 70 - 93%. Результаты расчета рекомендуемой высоты обнажения для всех структурных доменов представлены в таблицах 3, 4. Диапазон изменения данного важного технологического параметра достаточно широкий - от 7 до 25 м, что указывает на необходимость дифференцированного подхода к расчетам устойчивости стенок

очистных камер и прогнозу объемов обрушений для различных структурных доменов.

Обоснованные параметры являются способом адаптации к геомеханической ситуации, где в результате подработки сформированы зоны с повышенной интенсивностью трещиноватости. Для перспективных участков отработки богатых и вкрапленных руд на фланговых запасах рудников Талнахского рудного узла возможно в значительной степени снизить влияние подработки. При сохранении принятой последовательности отработки рудных залежей (сначала богатые руды, затем вкрапленные) для снижения отрицательного влияния подработки рекомендуется производить дозакладку очистных камер, пройденных в богатых рудах. Организация двухстадийной схемы закладочных работ необходимо выполнить с учетом времени, в течение которого происходит усадка закладочного массива. При определении времени начала второй стадии закладочных работ использованы результаты исследований Лаборатории геотехники ООО «Институт Гипроникель», направленные на изучение прочностных и деформационных свойств закладочного массива. Применяемый на руднике «Октябрьский» состав закладочной смеси АШЩ М30 (ангидрит, шлак, цемент) имеет следующие прочностные характеристики (рисунок 8).

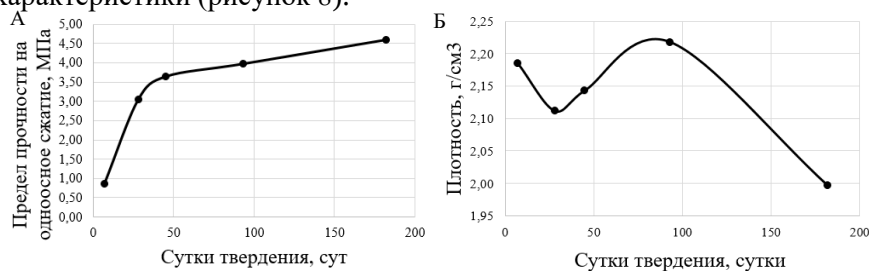


Рисунок 8 - Влияние времени на значения предела прочности закладочного материала при одноосном сжатии (А) и плотность (Б) закладочного материала

Согласно исследованиям, на 28 сутки достигается первый минимум плотности образца закладочного материала, что может свидетельствовать о снижении доли воды в образце, а также совпадает с набором прочности, требуемым при ведении очистных

работ (минимальное значение предела прочности на сжатие 1,1 - 1,5 МПа).

Данный период может являться ориентировочным критерием, после которого целесообразно осуществлять работу по дозакладке очистной камеры. В качестве примера на рисунке 9 представлена рекомендуемая технологическая схема ведения очистных работ в пределах подработанного участка (1-й структурный домен) для условий рудника «Октябрьский». Выемочная лента в данном случае по высоте разделена на 2 уступа (подэтажа) высотой 12 м, отработка камер осуществляется в восходящем порядке, в одновременной отработке могут находиться 2 очистные камеры в панели, при этом еще одна камера может находиться в стадии подготовки.

На рисунке 9: 1 - транспортный штрек, 2 - слоевой орт, 3 - разрезной штрек, 4 - отрезной восстающий, 5 - рудоспуск, 6 - вентиляционный восстающий, 7 - откаточный квершлаг, 8 - выработка вентиляционно-закладочного горизонта, 9 - закладочный массив, а - ширина камеры (8 м), S - ширина панели (80 м), L - длина панели (120 м), h - высота камеры (12 м).

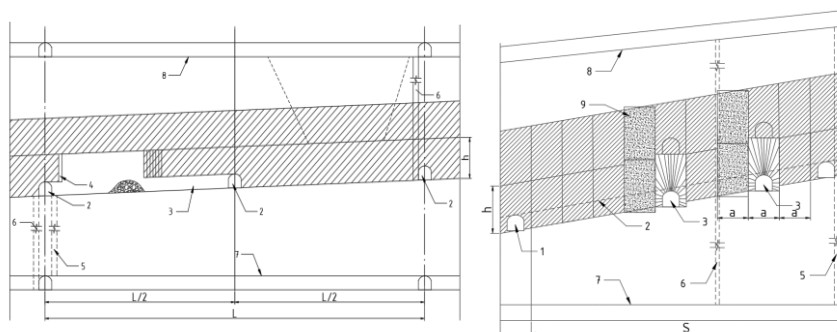


Рисунок 9 - Рекомендуемая технологическая схема ведения очистных работ в пределах подработанного участка (1-й структурный домен) для условий рудника «Октябрьский»

Уменьшение высоты очистной камеры позволяет снизить показатели разубоживания до 12-15% в условиях рудника «Октябрьский». Снижение разубоживания приводит к сокращению объемов эксплуатационных запасов, сокращению сроков реализации горнодобывающего проекта, что приводит к сокращению условно-

постоянных затрат, а также приводит к снижению затрат на доставку и транспортировку рудной массы, что выражается в увеличении выручки на 10% и более ежегодно при сохранении производительности рудника.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполненных исследований обоснованы параметры камерной системы разработки с закладкой выработанного пространства, обеспечивающие существенное (в 2,0-2,5 раза) снижение разубоживания добываемой руды при ведении очистных работ в подработанных мощных залежах вкрапленных руд.

Основные научные и практические результаты выполненного исследования заключаются в следующем:

1. К числу актуальных вопросов, требующих неотложного решения для рудников Талнахского рудного узла, являющегося сырьевой базой Норильского горно-металлургического комбината, относятся вопросы, связанные со снижением разубоживания добываемых вкрапленных руд. В течение ближайших 10-15 лет доля вкрапленных руд в общем объеме добычи увеличится более чем в 3 раза. Фактические значения коэффициентов разубоживания вкрапленных руд в настоящее время достигают 30% и более.

2. При реализации применяемого на руднике «Октябрьский» варианта камерной системы разработки проектные показатели разубоживания добываемой вкрапленной руды на уровне 10-12% реально могут быть достигнуты только при отработке первичных камер, в боках которых расположен рудный массив или рудные целики. Данный факт необходимо учитывать при планировании горных работ.

3. К числу основных факторов, негативно влияющих на качество добываемых вкрапленных руд, относится опережающая выемка нижерасположенных запасов богатых сульфидных руд. В подработанных залежах вкрапленных руд формируются области с повышенной частотой трещин, которые приводят к снижению устойчивости боков первичных камер и их обрушениям. Образовавшиеся при этом полости при ведении закладочных работ в первичных камерах заполняются твердеющим материалом, который обрушается буровзрывными работами при проходке вторичных (присечных) камер.

4. Принимая во внимание значительную высоту очистных камер (25 м и более), исключить отрицательное влияние опережающей выемки сплошных богатых сульфидных руд на разубоживание вкрапленных руд возможно только при выполнении условия полной закладки твердеющими материалами камер, пройденных по богатым рудам, и последующей дозакладки данных камер после усадки закладочного массива, величина которой в рассматриваемых условиях может достигать нескольких метров.

5. Снижение отрицательного влияния подработки на разубоживание вкрапленных руд, добываемых при проходке присечных (вторичных) очистных камер, достигается разделением выемочной ленты по высоте на уступы (подэтажи), оптимальную высоту которых определяют с учетом дополнительных издержек производства, связанного с разубоживанием добываемой руды закладочным материалом. В условиях рудника «Октябрьский» оптимальная высота уступов в зависимости от структурного домена составляет 7 - 25 м. Область рационального использования разработанных мероприятий определяется границами зоны повышенной трещиноватости вкрапленных руд.

6. Принятая в настоящее время ориентация очистных камер, пройденных по залежам вкрапленных руд характеризуется азимутами падения боков очистных камер соответственно равными 90 и 270 градусов, что в сочетании с фактическими геометрическими параметрами камер согласно методике оценки устойчивости Мэтьюза-Потвина является самым неблагоприятным решением по устойчивости породных вертикальных обнажений.

7. Реализация разработанных рекомендаций, связанных с определением высоты очистных камер и изменением направлений их проходки с учетом расположения и ориентации основных систем трещин в рудном массиве, создает объективные предпосылки для снижения коэффициента разубоживания вкрапленной руды в условиях рудника «Октябрьский» не менее, чем на 15-18%.

Дальнейшее развитие темы диссертации предполагает проведение опытно-промышленных испытаний рекомендуемых параметров системы разработки с целью оценки эффективности и корректировки предложенных решений, а также калибровки полученных аналитических зависимостей.

СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях из Перечня ВАК

1. Дарбинян, Т. П. Влияние трещиноватости горного массива на разубоживание медно-никелевых вкрапленных руд при их добыче на руднике «Октябрьский» / Т. П. Дарбинян, А. А. Цымбалов, В. П. Зубов, А. В. Колганов // Горный журнал. - 2023. - № 6. - С. 19-25. - DOI: 10.17580/gzh.2023.06.

2. Зубов В. П., Трофимов А. В., **Колганов А. В.** Влияние особенностей управления состоянием массива горных пород на рудниках Талнахского рудного узла на показатели разубоживания // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2024. - № 12-1. - С. 87-106. DOI: 10.25018/0236_1493_2024_121_0_87.

3. Марысюк В.П. Применение данных микросейсмического мониторинга для прогноза величины зоны влияния очистных работ на руднике «Октябрьский» / В. П. Марысюк, А. В. Трофимов, А. А. Андреев, А. В. Колганов // Горный журнал. - 2024. - Т. 3. - С. 5. - DOI: 10.17580/gzh.2024.03.05.

4. Marysyuk V. P., Gabyanin G.V., Trofimov A.V., **Kolganov A.V.**, Methodology of geomechanical block modeling of rock mass in Taimyrsky Mine field //Gorn. Zhurn. - 2022. - Т. 10. - С. 39-45. DOI: 10.17580/gzh.2022.10.06.

Патенты:

5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023660467 Российская Федерация, Программа для оценки устойчивости конструктивных элементов системы разработки: № 2023619532: заявлено 16.05.2023: опубликовано 22.05.2023 / Зубов В. П., **Колганов А. В.**; заявитель ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II». - 1 с.

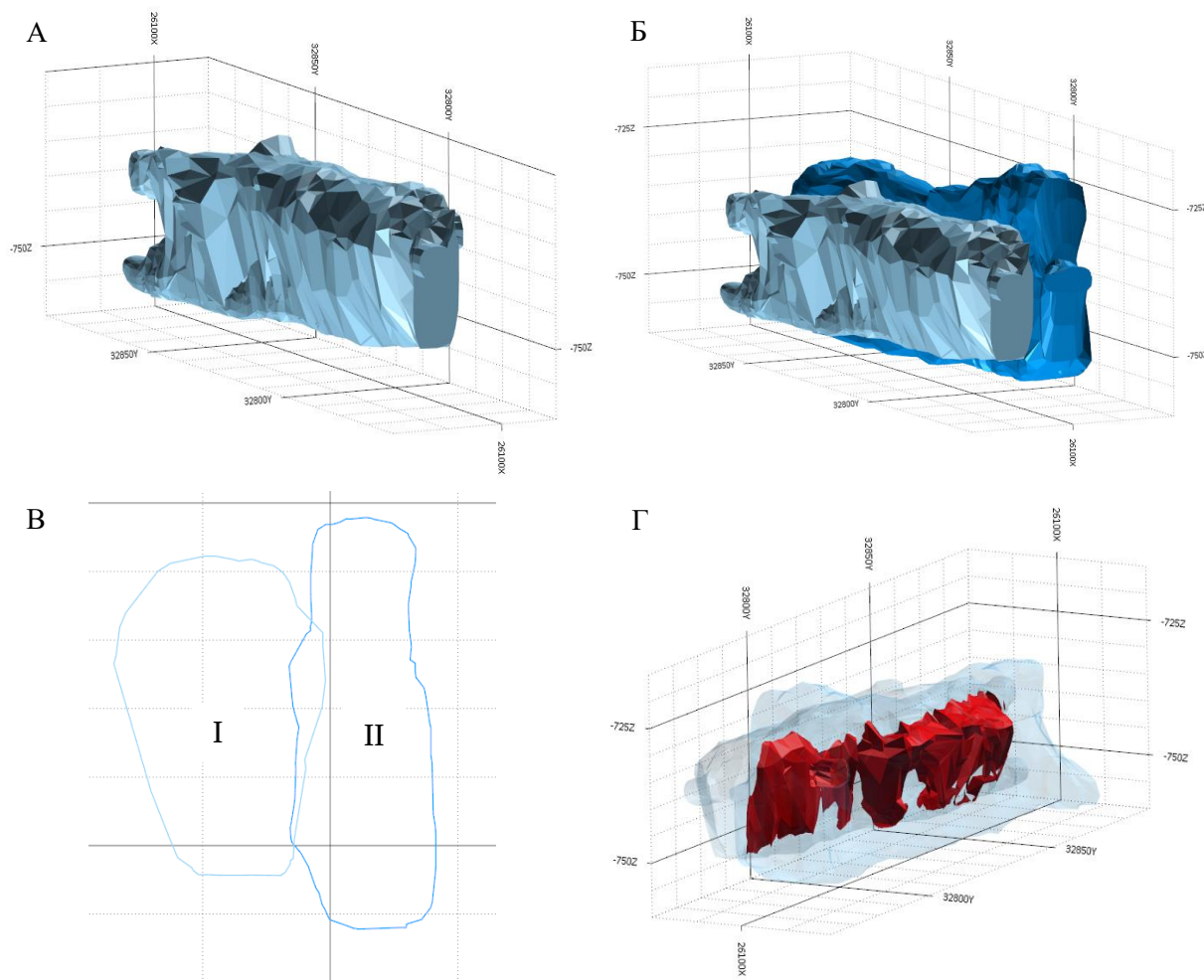


Рисунок 1 - Конфигурация камер первой (А) и второй (Б) очереди после их проходки, В - вертикальный разрез по смежным камерам 1-ой и 2-ой очереди, Г - камера 2-ой очереди с объемом закладочного материала 2827м³

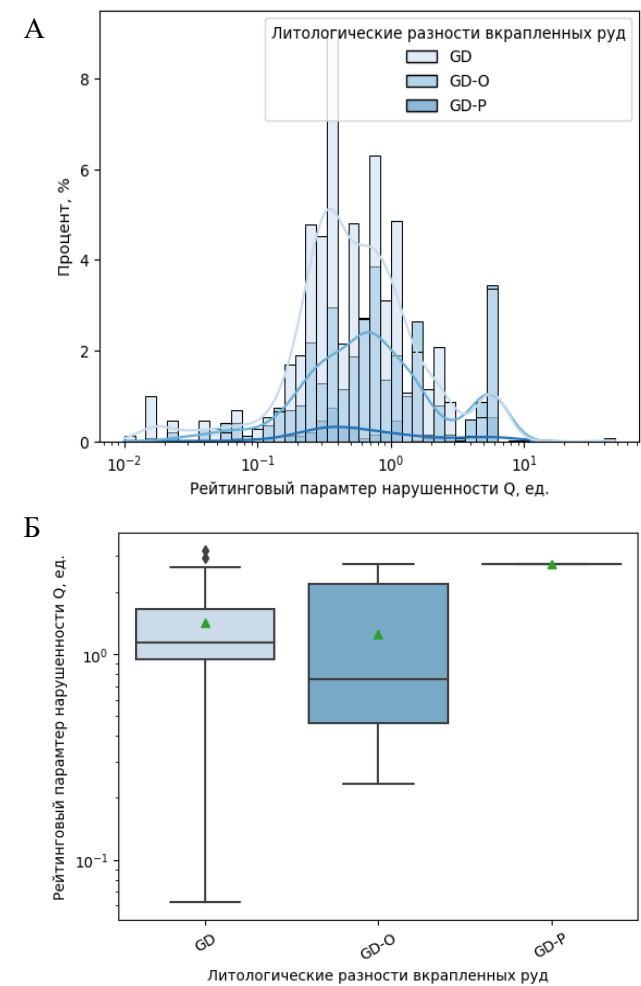


Рисунок 2 - Распределения параметра нарушенности (Q) подработанных залежей по литологическим разностям вкрапленных руд: А-по данным геотехнического описания керна, Б- по данным картирования горных выработок, GD, GD-O, GD-P- габбро-долериты оливиновые, такситовые

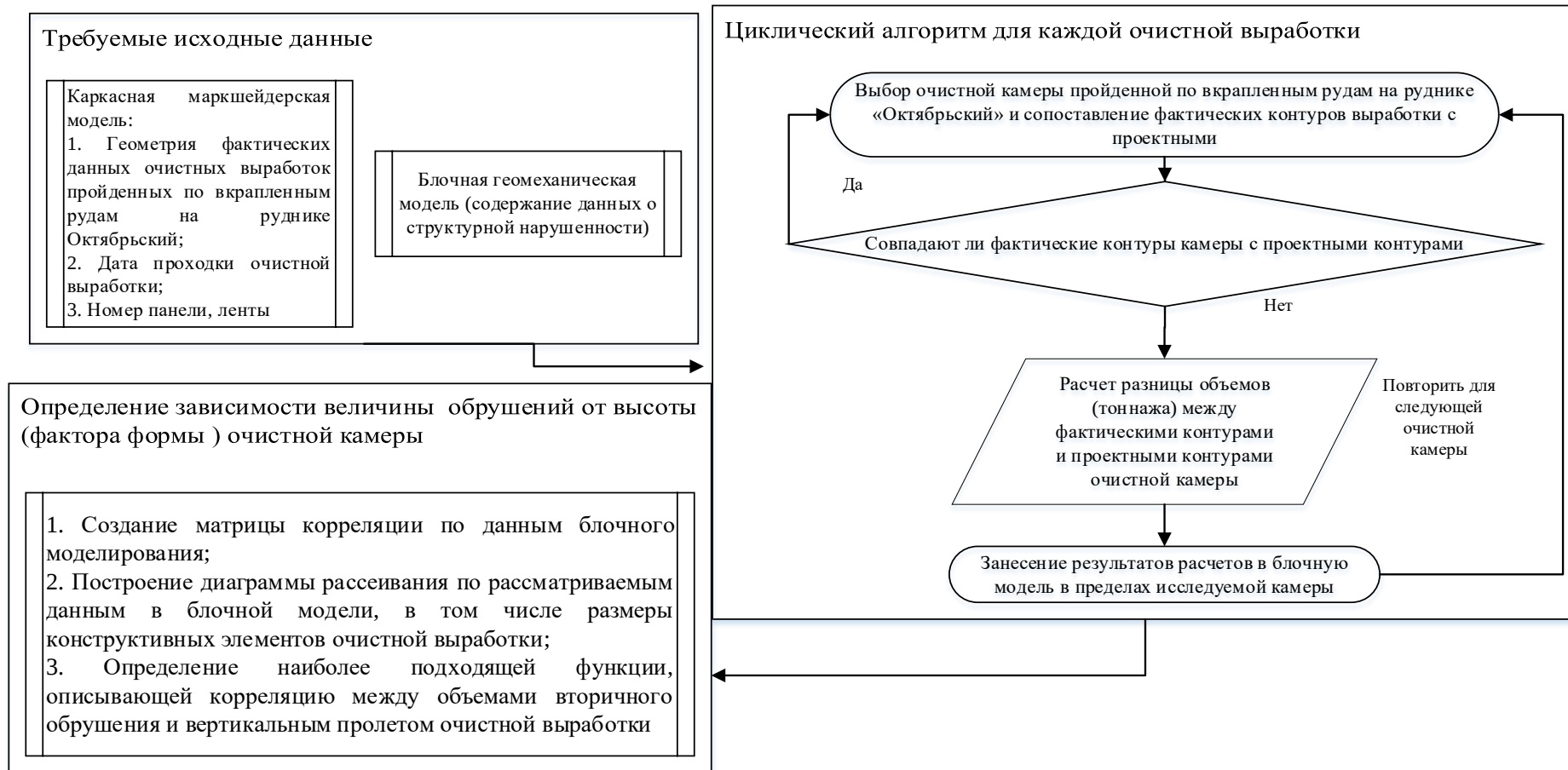


Рисунок 4 - Методология определения прогнозных значений обрушений при отработке вкрапленных руд на руднике «Октябрьский» с применением камерной системы разработки с закладкой выработанного пространства

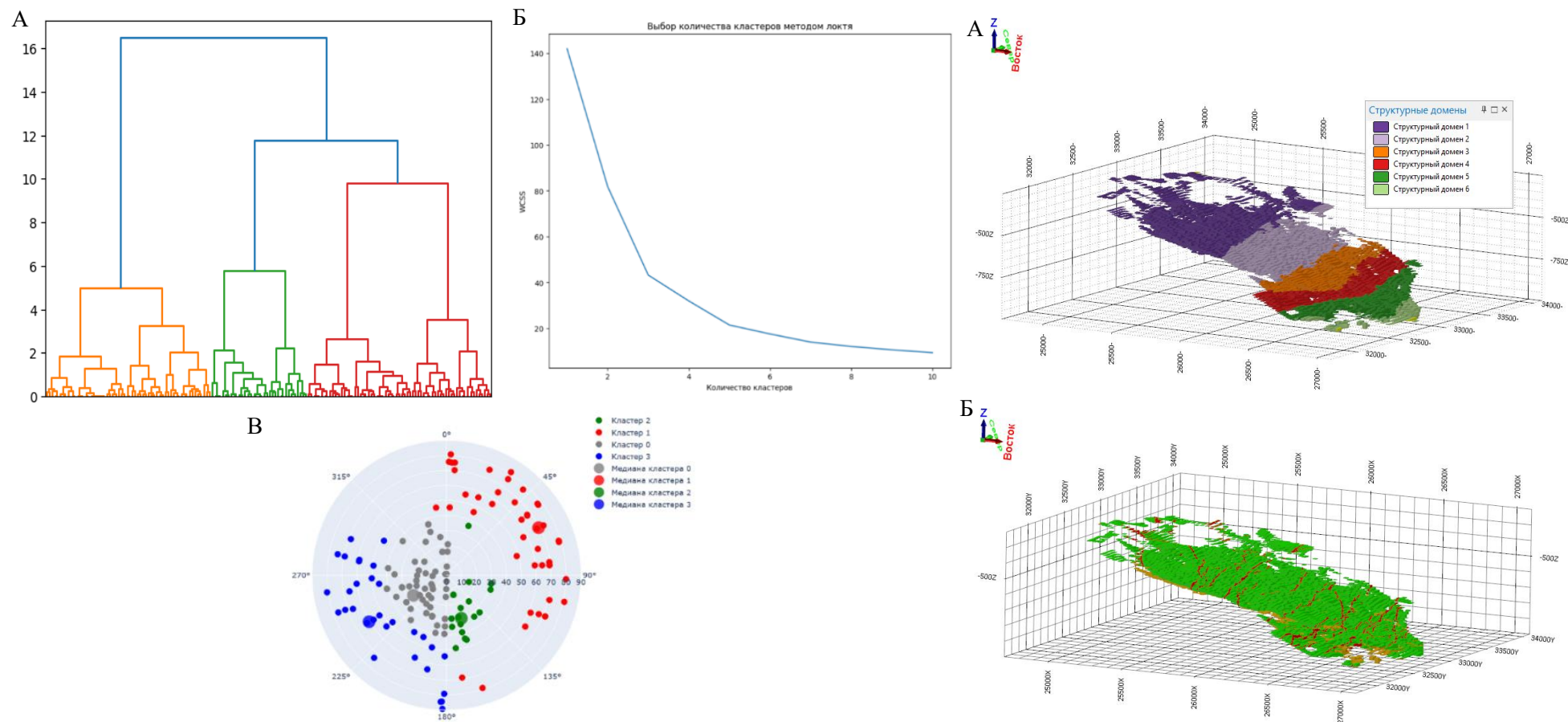


Рисунок 5 - Структурный анализ данных с применением кластерного анализа А) Дендрограмма, Б) График «локтя», В) Стереограмма трещиноватости с системами трещин

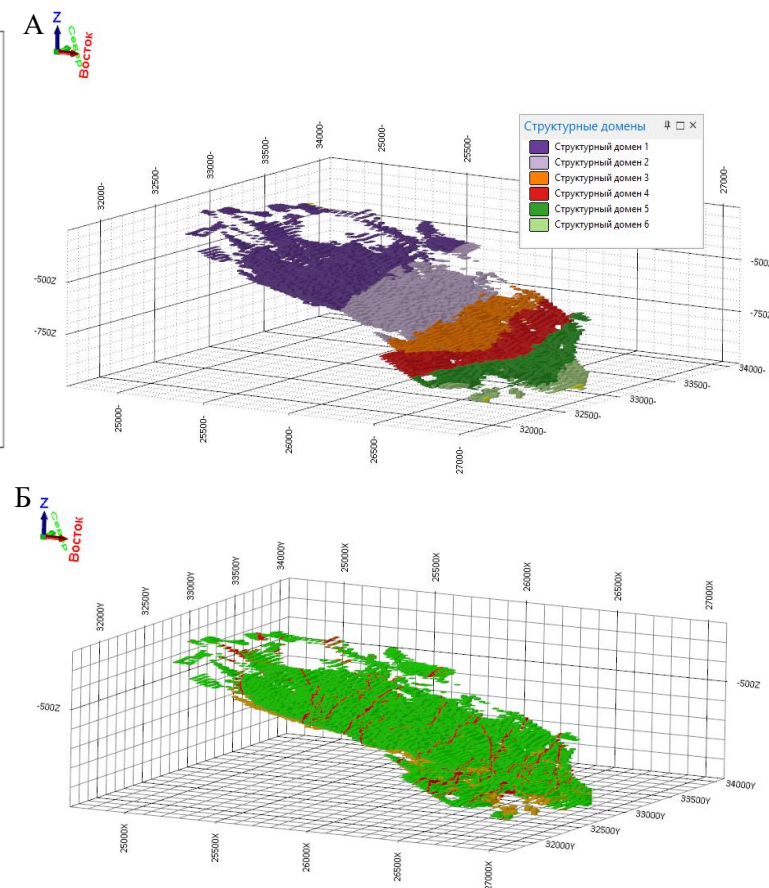


Рисунок 7 - Формирование базы данных для расчета рейтинговых показателей нарушенности залежей вкрапленных руд и разделения массива вкрапленных руд на структурные домены, А) Вкрапленные руды, разделенные на структурные домены, Б) Массив вкрапленных руд: зеленый цвет - вкрапленные руды вне зоны подработки, желтый цвет - вкрапленные руды в зоне подработки, карсый цвет - оси тектонических нарушений

Таблица 3 - Сопоставление результатов расчета по базовому и рекомендуемому сценариям с применением методики Мэтьюза-Потвина и аналитической зависимости для прогноза объемов обрушений

Структурные домены	Подработка	Медианное значение Qprime	Параметр В для стенки (базовый вариант)	В для стенки (рекомендуемый вариант)	N для стенки камеры (Базовый вариант)	N для стенки камеры (Рекомендуемый вариант)	Решение по методике Мэтьюза-Потвина (Базовый вариант)	Решение по методике Мэтьюза-Потвина (Рекомендуемый вариант)	Объемы обрушений по данным аналитической зависимости, т
Структурный домен 1	В зоне подработки	3,28	0,25	0,85	2,10	8,92	Обрушение (ELOS > 2 м)	Разубоживание с прирезкой меньше 1м (ELOS 1 м)	1 567
Структурный домен 2	В зоне подработки	3,71			2,37	10,83	Обрушение (ELOS > 2 м)	Разубоживание с прирезкой меньше 1м (ELOS 1 м)	1 567
Структурный домен 3	В зоне подработки	3,98			2,55	5,03	Обрушение (ELOS > 2 м)	Разубоживание с прирезкой меньше 1м (ELOS 1 м)	3 293
Структурный домен 4	В зоне подработки	1,9			1,22	8,92	Обрушение (ELOS > 2 м)	Разубоживание с прирезкой меньше 1м (ELOS 1 м)	600
Структурный домен 5	В зоне подработки	1,85			1,18	10,83	Обрушение (ELOS > 2 м)	Разубоживание с прирезкой меньше 1м (ELOS 1 м)	600
Структурный домен 6	В зоне подработки	4,99			3,19	5,03	Обрушение (ELOS > 2 м)	Разубоживание с прирезкой меньше 1м (ELOS 1 м)	4994

Таблица 4 - Рекомендуемые параметры очистных камер, обеспечивающих минимальное значение разубоживания добываемой руды для вкрапленных руд рудника «Октябрьский»

Структурные домены	Устойчивый фактор формы (гидравлический радиус стенки камеры (HR)) интервал от - до	Рекомендуемая высота очистной камеры, м
Структурный домен 1	5,3 - 7,47	12,00 - 18,00
Структурный домен 2	5,12 - 8,05	12,00 - 20,00
Структурный домен 3	5,96 - 8,40	15,00 - 20,00
Структурный домен 4	3,90 - 5,37	7,00 - 12,00
Структурный домен 5	3,85 - 5,28	7,00 - 12,00
Структурный домен 6	6,95 - 9,69	16,5 - 25,00