

На правах рукописи



ПРОХОРОВ АЛЕКСЕЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОТКРЫТОЙ ГЕОТЕХНОЛОГИИ
ДЛЯ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ БЕЛОГО
МРАМОРА**

Специальность 25.00.22 – Геотехнология
(подземная, открытая и строительная)

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Магнитогорск – 2022

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент,
Доможиров Дмитрий Викторович

Официальные оппоненты: **Стась Галина Викторовна**
доктор технических наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», г. Тула, доцент кафедры геотехнологий и строительства подземных сооружений

Кадеров Михаил Юрьевич
кандидат технических наук, доцент,
ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск, доцент кафедры открытых горных работ

Ведущая организация – ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург

Защита диссертации состоится 05 июля 2022г. в 15⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д.212.111.02 на базе ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» по адресу: 455000, Челябинская область, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38, малый актовЫй зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» и на сайте ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»: <http://www.magtu.ru>.

Автореферат разослан « » мая 2022 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук



С.Н. Корнилов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы.

На территории России добыча мрамора осуществляется с целью получения блочного камня и щебня. До 2000 года в стране 90% месторождений мрамора разрабатывались для добычи блочного камня при общем объеме выемке 5 млн. куб в год, и лишь 10% - для производства мраморного щебня.

С начала XXI века наблюдается тенденция перераспределения объемов товарной продукции и увеличения спроса на мраморный щебень в связи с развитием технологии производства микрокальцита, широко используемого в различных отраслях промышленности: пищевой, фармацевтической, стекольной, нефтегазовой, лакокрасочной, резинотехнической и многих других. При этом производство микрокальцита возможно только в результате переработки мраморного щебня высокой степени белизны. Динамика роста годового объема добычи мраморного щебня только в Уральском регионе с 2000 по 2021 гг. составила с 0,1 млн м³ до 3 млн м³.

Применение традиционных технологий добычи блочного камня на месторождениях мрамора высокой степени белизны обеспечивает выход товарных блоков, не превышающих 30%. При этом, образующиеся отходы в виде крошки, оков и некондиционных блоков используются для получения микрокальцита. Однако производительность таких месторождений не обеспечивает возрастающий спрос на микрокальцит. Следует отметить, что добыча мраморного щебня для производства микрокальцита осуществляется с применением высокопроизводительных технологий подготовки массива горных пород буровзрывным способом. Что приводит к нарушению целостности массива и полной потере блочной товарной продукции.

Таким образом, применяемые при разработке месторождений мрамора технологии добычи блочного камня и фракционного щебня являются взаимоисключающими и не позволяют получать рост объемов товарной продукции в пределах осваиваемого участка недр.

В связи с этим, обоснование параметров открытой геотехнологии комплексного освоения месторождений мрамора высокой степени белизны при добыче блочного камня и фракционного щебня в пределах одного карьерного поля является актуальной научно-практической задачей.

Цель работы. Разработка методики обоснования параметров открытой геотехнологии, обеспечивающей одновременную добычу блочного камня и фракционного щебня для производства микрокальцита высокой степени белизны

Идея работы. Повышение полноты и комплексности освоения запасов месторождений белого мрамора достигается за счет предварительного районирования карьерного поля на участки для применения комплекса буровзрывных работ и механизированного оборудования с взаимовязкой параметров геотехнологии одновременной добычи высокодекоративного блочного камня и фракционного щебня при производстве микрокальцита высокой степени белизны

Объект исследования.

Открытая геотехнология разработки месторождений белого мрамора.

Предмет исследования. Параметры открытой геотехнологии, обеспечивающей комплексное освоение запасов белого мрамора с максимальным выходом готовой продукции при добыче на одном участке недр блочного камня и щебня для производства микрокальцита высокой степени белизны.

Основные задачи исследования:

- анализ современных подходов к комплексному освоению запасов месторождений белого мрамора и тенденций развития техники и технологии его добычи и переработки;
- обоснование критериев оценки качества и видов товарной продукции при комплексном освоении месторождений белого мрамора;
- обоснование технологий буровзрывной подготовки и механического рыхления массива горных пород, с учетом горно-геологических условий, месторождений белого мрамора;
- классификация технологий добычи блоков и мраморного щебня для производства микрокальцита высокой степени белизны на одном участке недр;
- разработка методики обоснования параметров открытой геотехнологии, обеспечивающей одновременную добычу блочного камня и фракционного щебня для производства микрокальцита высокой степени белизны;
- технико-экономическая оценка предлагаемых технологических решений.

Методы исследования. Использован комплексный метод исследований, включающий: анализ и обобщение достижений науки, техники и технологии открытых горных работ, опыта отечественных и зарубежных исследований; моделирование и проведение экспериментов в полупромышленных и промышленных условиях с использованием инструментальных замеров; обработку результатов экспериментов и промышленной апробации разработанных рекомендаций методами математической статистики; технико-экономический анализ.

Защищаемые положения:

1. Повышение полноты и комплексности освоения запасов месторождений белого мрамора обеспечивается: предварительным районированием карьерного поля по коэффициенту трещиноватости массива, декоративности и степени белизны готовой продукции; созданием защитного экрана по контакту участков блочного камня и мраморного щебня; применением комплекса горного оборудования с рациональными параметрами буровзрывных работ.

2. Сохранение природной структуры массива участка для добычи блочного камня обеспечивается удалением буровзрывных работ от его границ на расстояние не менее 20 м в плане и 5 диаметров скважин в вертикальной плоскости при использовании низкобрызгантных взрывчатых веществ и щадящих взрывных технологий или созданием демпферной защиты шириной более 7 м и глубиной 0,3 длины скважины с применением конструкции заряда на воздушной подушке и с инертным материалом фракции 0-20 мм в донной части заряда.

3. Полнота и эффективность освоения запасов месторождения белого мрамора достигается выбором технологии их подготовки к выемке и добыче, исключающей разубоживание вредными включениями, снижением выхода фракции 0-20 мм и обеспечивается применением механического рыхления, однорядного взрывания с параметрами, установленными на основании выявленной степенной зависимости сетки скважин от диаметра и удельного расхода взрывчатого вещества.

Научную новизну работы составляют:

1. Классификация технологий добычи белого мрамора по типу применяемого оборудования и способам подготовки пород к выемке, использование которой позволяет в пределах одного карьерного поля определить рациональное сочетание механического и буровзрывного рыхления с учетом степени трещиноватости и требований к качеству товарной продукции, для обеспечения максимального совокупного выхода товарных блоков и фракционного щебня для производства микрокальцита высокой степени белизны.

2. Методика обоснования параметров открытой геотехнологии при разработке месторождений белого мрамора, включающая районирование карьерного поля на участки по степени трещиноватости, типу и сортам товарной продукции, выбор комплекса оборудования, способа создания демпфера и технологии производства буровзрывных работ, обеспечивающая полноту и комплексность освоения балансовых запасов.

3. Установлена зависимость параметров сетки скважин от их диаметра и удельного расхода взрывчатого вещества для различных конструкций зарядов, представляющая собой семейство монотонно возрастающих степенных кривых, область применения которых ограничена качественными показателями товарной продукции: минимальный выход товарной фракции 0-20 мм и максимальный выход негабарита.

Достоверность результатов обеспечивается: надежностью и представительным объемом исходных данных; использованием современных программных средств проведения компьютерного моделирования; апробацией результатов исследований на карьерах по добыче строительных материалов ООО «РИФ-Микромрамор»; подтверждается: сопоставимостью результатов теоретических, натуральных исследований, а также полигонных испытаний и использованием апробированных методов математической статистики.

Личный вклад автора состоит в постановке цели и задач исследования; проведении теоретического анализа и разработке направлений комплексного освоения запасов месторождений белого мрамора, обеспечивающих полноту отработки запасов; обосновании видов товарной продукции мрамора и критериев оценки его качества; разработке технологий буровзрывной подготовки и механического рыхления в контактных зонах с вредными включениями; проведении научных и опытно-промышленных экспериментов; обработке, интерпретации результатов исследований; анализе и обобщении полученных результатов; подготовке публикаций.

Практическая значимость результатов диссертационного исследования состоит в том, что применение разработанных технологий добычи мраморных блоков и щебня высокой степени белизны на одном участке недр, технологических схем обработки контактных зон механическим рыхлением, конструкций вертикального и горизонтального демпфера, рациональных параметров однорядного взрывания обеспечивают повышение выхода товарной продукции и комплексное освоение запасов месторождений белого мрамора.

Научное и практическое значение работы подтверждено ее выполнением при поддержке гранта Российского научного фонда №14-37-00050.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на: X и XI международной научно-технической конференции «Комбинированная геотехнология» (г. Магнитогорск, 2019, 2021 гг.); «Актуальные проблемы современной науки, техники и образования» (г. Магнитогорск, 2020 г.); международной конференции «Добыча, обработка и применение природного камня» (г. Магнитогорск, 2016, 2018 гг.).

Реализация результатов работы. Результаты и научно-практические рекомендации диссертации использованы в проектах разработки месторождений «Полоцкое» и «Еленинское».

Публикации. Основные положения диссертации опубликованы в 14 научных работах, из них: 4 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК при Министерстве науки и высшего образования РФ; 3 – в изданиях, индексируемых в базах Web of Science и Scopus; 7 – в прочих изданиях.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав и заключения, изложенных на 160 страницах машинописного текста, содержит 60 рисунков, 32 таблицы и список литературы из 130 пунктов.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе проведен анализ существующих способов и технологий добычи белого мрамора, современного состояния комплексного освоения месторождения и тенденций развития техники и технологии при добыче и переработке мрамора высокой степени белизны, рынка товарной продукции.

В мире всегда особо ценился белый мрамор как заготовка для скульптур и других произведений искусства, а также для облицовки значимых зданий и сооружений. Объем добычи был незначительным при высокой стоимости уникальных блоков.

В результате проведенного анализа применяемых технологий добычи при разработке месторождений белого мрамора установлено, что отделение блочного камня от массива осуществляется с применением алмазноканатного пиления и баровых машин, на которые приходится не более 1/3 всего объема добычи белого мрамора, при этом выход товарных блоков не превышает 30%. Сегодня до 80% белого мрамора добывается преимущественно с применением буровзрывных работ и частично с применением фрезерных комбайнов и гидромолотов (рисунок 1). Установлено, что на всех ме-

сторожениях мира применяемые технологии добычи блочного камня и мраморного щебня являются взаимоисключающими.

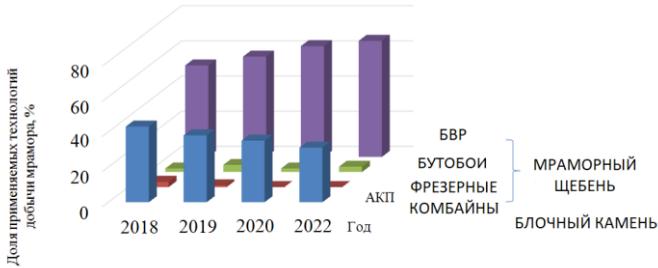
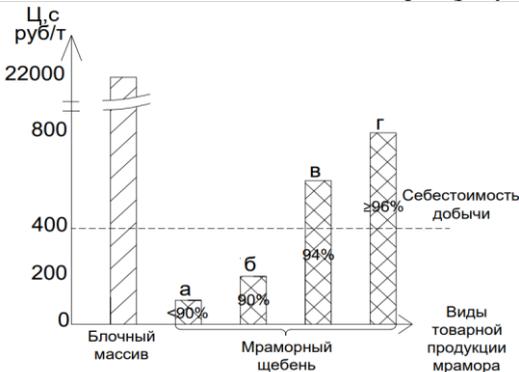


Рисунок 1 – Распределение добычи мрамора по виду товарной продукции и способу обработки месторождения

Анализ мирового рынка потребления белого мрамора показал, что наибольшей ценностью обладает блочный камень при остром его дефиците. При этом мраморный щебень является более востребованной продукцией для производства микрокальцита, стоимость которого в зависимости от сорта по степени белизны может отличаться до 10 раз (рисунок 2).



- а - сорт I – степень белизны $\geq 96\%$;
- б - сорт II – степень белизны = 94%;
- в - сорт III – степень белизны = 90%;
- г - сорт IV – степень белизны $< 90\%$

Рисунок 2 - Стоимость готовой продукции месторождений мрамора

Основными направлениями повышения комплексности освоения месторождения мрамора является увеличение выхода товарных блоков и мраморного щебня высоких сортов, снижение себестоимости, подбор оптимальных режимов и технологии добычи с учетом трещиноватости, одновременная добыча блочного камня и мраморного щебня. В развитие этих направлений значительный вклад внесли академики В.В. Ржевский, К.Н. Трубецкой; член-корреспонденты РАН Д.Р. Каплунов, В.Л. Яковлев, профессора Б.П. Беликов, Г.В. Бычков, В.Н. Калмыков, А.И. Косолапов, Г.Д. Першин, И.А. Пыгалева, В.К. Рубцов, М.В. Рыльникова, Г.В. Стась, В.С. Хохряков, А.С. Чирков и многие другие ученые и инженеры.

Однако в их трудах и существующей научно-методической базе отсутствуют технические решения, направленные на обеспечение комплексности освоения запасов месторождений мрамора при достижении максимального

ассортимента готовой продукции в виде блочного камня и мраморного щебня, добываемых в пределах одного карьерного поля.

Во второй главе определены критерии оценки качества товарной продукции месторождений белого мрамора, предложена классификация технологий его добычи и исследованы факторы, обуславливающие высокую ценность готовой продукции, разработан принцип районирования месторождения белого мрамора

Возможность разработки месторождения мрамора для добычи товарного блока и мраморного щебня определяется на основе классификации В.К. Рубцова. Согласно данной классификации III категория трещиноватости является пограничной при определении товарной продукции, при этом I и II категории обуславливают добычу на месторождениях только мраморного щебня.

В результате опытно-промышленных испытаний по повышению показателей качества добычи в период с 2019 по 2021гг. установлено, что увеличение разубоживания не более 4% приводит к увеличению потерь товарной продукции до 20% (рисунок 3).

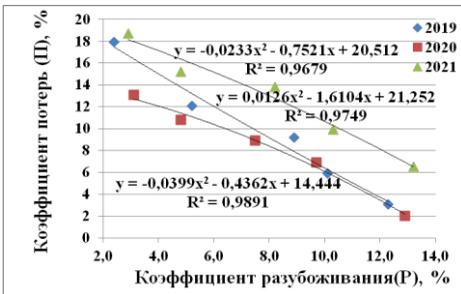


Рисунок 3 – График зависимости коэффициентов потерь и засорения от сорта мрамора (степени белизны) на Еленинском месторождении

Выявлено, что между потерями и разубоживанием существует обратная нелинейная зависимость. Снижение степени белизны мрамора и, как следствие, ухудшение качества напрямую зависят от площади, угла падения, формы контакта и мощности серых и желтых включений.

В работе с целью количественной оценке выхода мраморного щебня высокой степени белизны с учетом вредных включений предложен показатель чистоты ($K_{ч}$):

$$K_{ч} = \frac{S_{\text{поверхн. вредн. вкл.}}}{V_{\text{ни}}}, \text{ м}^2 / \text{м}^3 \quad (1)$$

где, $S_{\text{поверхн. вредн. вкл}}$ – площадь поверхности вредных включений, м^2 ;

$V_{\text{ни}}$ – объем полезного ископаемого (блока, по горизонту, общекарьерный, текущий).

Установлено, что разубоживание имеет прямо пропорциональную зависимость от показателя чистоты. В промышленных условиях выявлено, что наибольшая стоимость товарной продукции обеспечивается при переработке белого мрамора на дробильно-сортировочной установке (ДСУ) щебня фракций 40-200 мм и 20-40 мм со степенью белизны более 94% и коэффициентом разубоживания до 4% (рисунок 4).

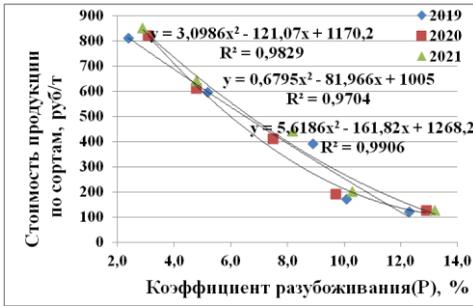


Рисунок 4 – Графики зависимости стоимости мраморного щебня по сортам от коэффициента разубоживания

Доказано, что при добыче щебня на месторождениях белого мрамора для производства микрокальцита высокой степени белизны качество взрывного дробления и в целом качество готовой продукции по сортам с учетом белизны и фракционности зависит от гранулометрического состава. В результате исследований грансостава установлено, что при многорядном короткозамедленном взрывании скважин диаметром 170 и 227 мм фактическое количество кусков фракций – 0-20 мм составляет от 24%, 20-90 мм – от 26 до 57%, 90-200 мм – до 19%.

С целью определения способа подготовки пород к выемке и типа применяемого оборудования предложена классификация технологий комплексного освоения запасов белого мрамора в пределах одного карьерного поля (таблица 1). Классификация позволяет в пределах осваиваемого участка запасов недр определять рациональное сочетание механического и буровзрывного рыхления с учетом степени трещиноватости и требований к качеству готовой продукции для обеспечения максимального совокупного выхода товарных блоков и фракционного щебня для производства микрокальцита высокой степени белизны.

Разработанная классификация является основой предлагаемого подхода по отработке месторождения белого мрамора. При этом товарной продукцией карьера является блочный камень и мраморный щебень для производства микрокальцита высокой степени белизны. Совокупная стоимость товарной продукции определяет эффективность ведения добычных работ и комплексное освоение запасов мрамора.

С целью определения совокупной ценности товарной продукции предложена методика ее расчета, основанная на интегрировании сортов блока и фракционности мраморного щебня, поступающего на дробильно-сортировочную установку (ДСУ):

$$C_{\text{компл}} = V_{\text{м}} \sum_{i=1}^{n=i} (D_i C_i + D_j C_j), \quad (2)$$

при этом

$$\left(\sum_{i=1}^m D_i + \sum_{j=1}^n D_j \right) \leq 1, \quad (3)$$

$$1 - \left(\sum_{i=1}^m D_i + \sum_{j=1}^n D_j \right) = P, \quad (4)$$

где V_m – балансовые запасы; D_i – доля объема i -го вида блоков ($i=1,2,3,4$ соответственно блоки I, II, III групп и ТУ; $i=5$ – окол; $i=6$ – щебень; $i=7$ – глыбы); C_i – стоимость единицы i -го блока; D_j – доля объема j -го фракционного состава в общем объеме горной массы; C_j – стоимость единицы j -ой фракции; n – число фракций в объеме горной массы; P – потери после выделении из массива всех видов товарной продукции.

Таблица 1 –Классификация технологий добычи мрамора высокой степени белизны в пределах осваиваемого участка недр

Товарная продукция	Традиционная технология	Доля применения технологии на месторождениях мрамора высокой степени белизны, %	Условия реализации технологии	Комбинации традиционных технологий на одном зонированном участке месторождения (условия реализации технологии)	Комбинации традиционных технологий в пределах одного месторождения
Блок	АКМ	15	Наличие кварцевых включений	-	1. Ф+АКМ (АКМ+БМ); 2. БВР+Ф+АКМ (АКМ+БМ); 3. Б+БВР+АКМ (АКМ+БМ); 4. Б+АКМ (АКМ+БМ); 5. БВР+АКМ (АКМ+БМ); 6. Б+Ф+АКМ (АКМ+БМ); 7. БВР+Ф+Б+АКМ (АКМ+БМ);
	БМ	5	Высокая степень трещиноватости		
	БМ+АКМ	80	Низкая степень трещиноватости и отсутствие включений кварца		
Щебень (микрочальцит)	БВР	80	Низкие требования к качеству продукции (низкая степень белизны); коэффициент крепости 6-11	БВР-Б БВР-Ф (высокие требования к качеству продукции (средняя и высокая степень белизны); снижение выхода фракций 0-20 мм; коэффициент крепости 6-11)	
	Ф	10	Высокие требования к качеству продукции (высокая степень белизны); коэффициент крепости 6-11		
	Б	10	Высокие требования к качеству продукции (высокая степень белизны); коэффициент крепости 6-11		

Выявлено, что ценность товарной продукции, получаемой из мраморного сырья, добываемого в пределах осваиваемого участка недр, зависит от соотношения сортности блочного камня и фракционного состава щебня.

В работе для определения технологии добычи с учетом горно-геологических условий и долевого распределения кондиционного сырья предложена методика районирования карьерного поля. Принцип районирования месторождения белого мрамора базируется на критерии качества товарной продукции с учетом трещиноватости, крепости, белизны и наличия вредных включений. Районирование участка недр осуществляется на основе предложенной блочной модели и целевых функций (рисунок 5).

В результате моделирования для условий месторождения белого мрамора установлена возможность выделения 4 основных участков.

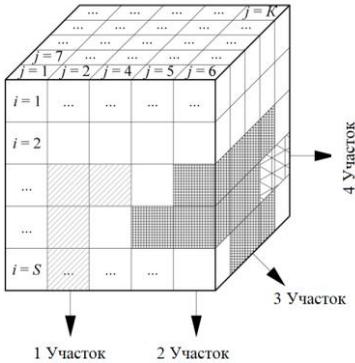


Рисунок 5 - Модель районирования месторождения мрамора

1. Участок блочного камня
2. Участок мраморного щебня для производства микрокальцита
3. Участок на контакте блочного камня и мраморного щебня
4. Участок на контакте мраморного щебня с темными и желтыми включениями

Математическая запись предлагаемой модели с целевой функцией и системой ограничений имеет следующий вид:

$$\Pi_{\text{компл}} = f(\Phi M, K, T) \rightarrow \max, \quad (5)$$

$$\begin{cases} \Phi M = f(\text{трещиноватость}, \text{крепость}); \\ K = f(\text{белизна}, \text{желтизна}, \text{потери}, \text{засорение}); \\ T = f(BBP, AKM, BM, B, \Phi), \end{cases}$$

где $\Pi_{\text{компл}}$ – прибыль при комплексном освоении зонированного участка недр; ΦM – физико-механические свойства пород (трещиноватость, крепость), определяющие вид товарной продукции зонированного участка недр и технологию его освоения; T – технология отработки зонированного участка недр, обеспечивающая высокую ценность товарной продукции; K – критерии качества товарной продукции (степень белизны, желтизны, потери и засорение); BBP – технология подготовки горных пород к выемке с использованием буровзрывных работ; AKM – технология добычи блочного камня с использованием алмазно-канатных машин; BM – технология добычи блочного камня с использованием баровых машин; B – технология добычи мраморного щебня с использованием гидромолота тяжелого класса (бутобой); Φ – технология добычи мраморного щебня с использованием фрезерного комбайна.

Переход от одной технологии отработки зонированных участков месторождения к другой при их выборе выполняется с учетом обеспечения минимальных удельных затрат:

$$Z_y = (Z_{\text{мр-м}} + Z_{BBP} + Z_{AKM} + Z_{BM} + Z_{\Phi} + Z_B) \rightarrow \min, \quad (6)$$

где $Z_{\text{мр-м}}$ – удельные затраты на транспортирование (логистика); Z_{BBP} – удельные затраты при технологии подготовки горных пород к выемке с использованием буровзрывных работ; Z_{AKM} – удельные затраты при технологии добычи блочного камня с использованием алмазно-канатных машин; Z_{BM} – удельные затраты при технологии добычи блочного камня с использованием баровых машин; Z_{Φ} – удельные затраты при технологии добычи мраморного щебня с использованием фрезерного комбайна; Z_B – удельные затраты при технологии добычи мраморного щебня с использованием гидромолота тяжелого класса (бутобой).

В третьей главе выполнено обоснование безвзрывной технологии добычи мрамора в рамках одного участка недр; параметров буровзрывной подготовки при добыче мрамора высокой степени белизны; технологии добычи мраморных блоков и щебня на одном месторождении и предложен алгоритм выбора технологии добычи белого мрамора с максимальной прибылью.

В результате анализа горно-геологических условий месторождений белого мрамора выявлено два возможных варианта местоположения участков для добычи блочного камня относительно границ карьерного поля, имеющего и не имеющего общую границу с его периметром (рисунок 6 и 7).



Рисунок 6 – Схема расположения участка блочного камня, имеющего общую границу с периметром карьерного поля

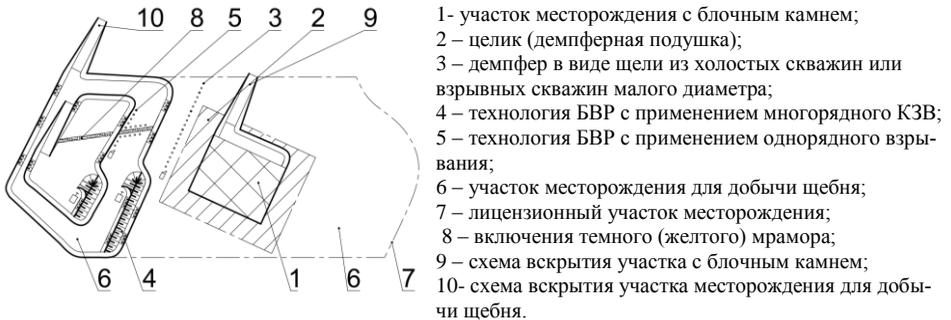


Рисунок 7 – Схема расположение участка блочного камня, не имеющего границы с периметром карьерного поля

Для каждого варианта обоснованы схемы вскрытия. При наличии общей границы месторождение вскрывается общими траншеями, при отсутствии контакта с периметром карьерного поля - вскрывается отдельными траншеями внутреннего или внешнего заложения.

В работе для обеспечения одновременной разработки участков блочного камня и мраморного щебня предложено и обосновано использование защитного экрана в виде демпферов в зависимости от пространственного расположения участков блочного камня: горизонтальный и вертикальный (рисунок 8).

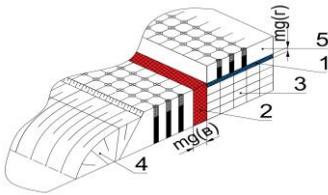


Рисунок 8 – Схема пространственного расположения демпфера

Горизонтальный демпфер может быть организован только оставлением предохранительного целика, размеры которого определяются с учетом воздействия БВР, конструкцией скважинного заряда в донной ее части и запаса прочности (рисунок 9). В отличие от горизонтального демпфера вертикальный может быть реализован различной его конструкции с учетом негативного воздействия упругих и сейсмических волн (рисунок 10).

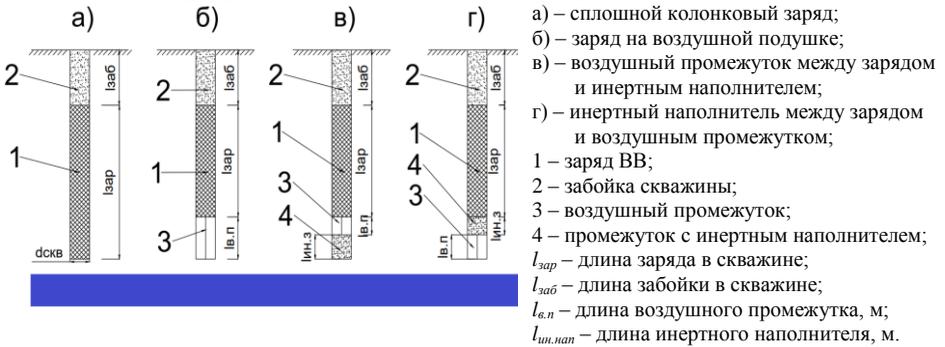


Рисунок 9 – Конструкция зарядов в донной части скважины

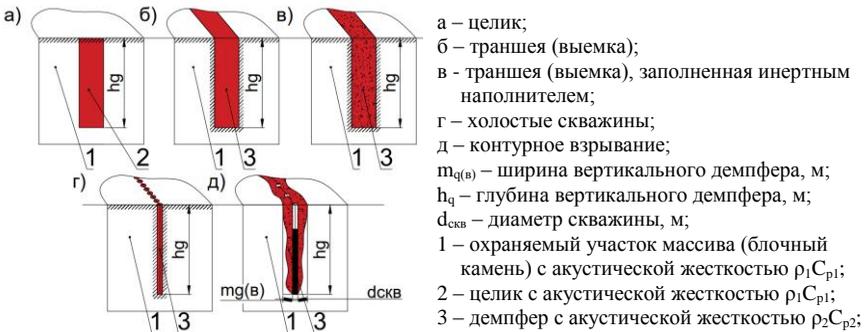


Рисунок 10 – Конструкция вертикального демпфера

При определении параметров горизонтального демпфера предложено использование методики расчета параметров БВР с учетом конструкции заряда на воздушной подушке, трещиноватости, упругих характеристик массива, диаметра заряда и типов ВВ (рисунок 10б).

В результате моделирования параметров БВР для условий Еленинского месторождения мрамора, были установлены зависимости ширины горизонтального демпфера от диаметра скважинного заряда, его конструкции и типа применяемого ВВ (рисунок 11). Установлено, что увеличение диаметра скважины с 150 до 250 мм приводит к увеличению ширины демпфера с 0,5 м до 1,4 м; конструкция на воздушной подушке и применение низкобризантных ВВ приводит к снижению ширины демпфера до 30 %.

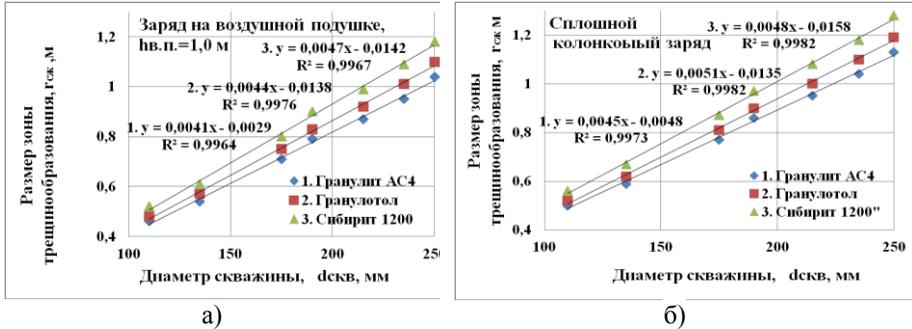


Рисунок 11 – График зависимости изменения ширины горизонтального демпфера (размер зоны трещинообразования) от типов взрывчатых веществ и принятой конструкции скважинного заряда: а) заряд на воздушной подушке ($h_{в.п.}=1,0$ м); б) сплошной колонковый заряд ($h_{в.п.}=0$ м)

Создание вертикального демпфера достигается оставлением целика и мероприятиями, обеспечивающими формирование массива с требуемой акустической жесткостью. Предложена методика, основанная на принципах заложенных Андриевским А.П. и Зуевым А.Е., что позволило дополнительно учесть типы применяемых ВВ и акустическую жесткость вертикальных демпферов.

В результате моделирования для условий Еленинского месторождения мрамора были установлены зависимости параметров вертикального демпфера в виде защитного целика от диаметра скважинного заряда и типа применяемого ВВ (рисунок 12).

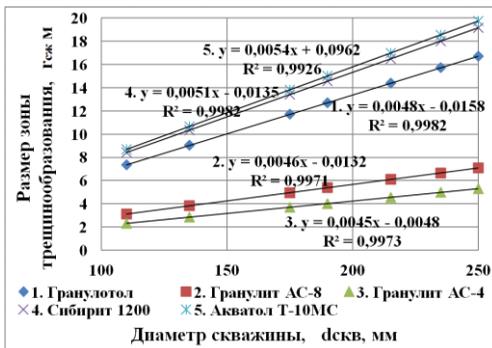


Рисунок 12 - График зависимости ширины вертикального демпфера (размер зоны трещинообразования) от диаметра скважины для различных типов ВВ

Установлено, что увеличение диаметра скважины с 102 до 250 мм приводит к увеличению ширины демпфера с 2,0 м до 20 м.

С целью обеспечения заданной производительности карьера и требуемого качества мраморного щебня в условиях изрезанности массива прослоями не белого материала (исключить переизмельчение и перемешивание) предложено применение однорядного взрывания в контактной зоне. В результате опытно-промышленных испытаний при использовании однорядного взрывания с обоснованными по предложенной методике параметрами достигнуто снижение потерь кондиционного сырья при селективной выемке до 5%, вторичного отсева фракции 0-5 мм - до 9% и разубоживание вредными включениями – не более 4 %.

При отработке участков мрамора с применением БВР предусматривается оставление целиков с прожилковыми включениями. Для разработки данных целиков рассмотрены варианты безвзрывной подготовки и осуществлен выбор системы разработки по классификации, предложенной Н.В. Мельниковым. На участке предусматривается применение транспортной системы разработки, включающей в себя цикличную трех или четырехпроцессную технологию:

1 вариант включает следующие процессы:

- механическое рыхление горной массы и выемочно-погрузочные работы совмещены (фрезерный комбайн), а в зоне контакта выемка осуществляется погрузчиком;
- транспортирование (автотранспорт);
- отвалообразование и складирование (внешнее бульдозерное).

2 вариант включает следующие процессы:

- механическое рыхление горной массы (тяжелый гидромолот);
- выемочно-погрузочные работы (экскаватор типа мехлопата);
- транспортирование (автотранспорт);
- отвалообразование и складирование (внешнее бульдозерное).

Техническая задача первого варианта заключается в увеличении производительности открытых горных работ по горной массе при обеспечении минимизации простоя горнотранспортного оборудования, снижении разубоживания с целью повышения эффективности отработки месторождений белого мрамора.

Техническим результатом является повышение производительности карьера по горной массе путем создания принципиальной технологической схемы перемещения фрезерного комбайна в пределах рабочего горизонта и селективной выемки в контактных зонах вредных включений. Погрузка мраморного щебня со степенью белизны выше 94% производится по конвейерной ленте через разгрузочную консоль в автосамосвалы. Породы включений фрезерный комбайн отсыпает в породный навал, где погрузчиком перегружаются в средства автотранспорта и транспортируются в отвал (рисунок 13).

Техническая задача второго варианта заключается в повышении производительности карьера по добыче белого мраморного щебня при отработке участков с вредными включениями. В работе предусматривается отработка данных участков с применением гидромолота тяжелого класса.

В работе установлены зависимости изменения производительности гидромолота от ширины ленты откола (рисунок 14), а на рисунке 15 представлена технологическая схема разработки участков контактных зон.

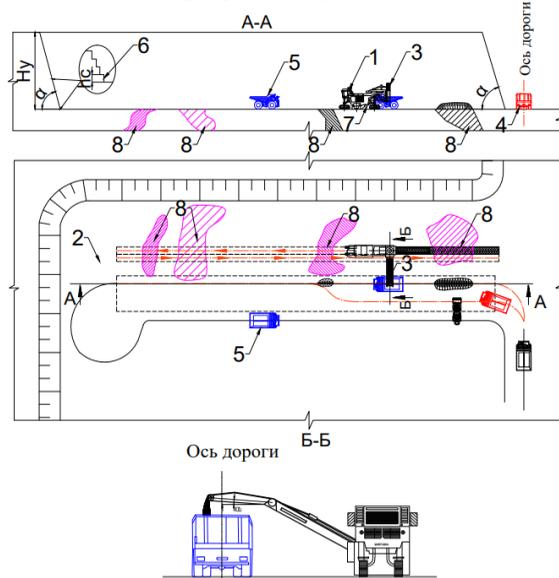


Рисунок 13 – Технологическая схема работы фрезерного комбайна в зоне контакта белого мрамора с вредными включениями

1-фрезерный комбайн; 2-рабочий горизонт; 3-разгрузочная консоль; 4-автосамосвал под погрузкой; 5-грузеный автосамосвал; 6-мощность слоя фрезерования; 7-порожный автосамосвал, подготовленный к погрузке; 8- вредные включения; 9-ось направления перемещения фрезерного комбайна

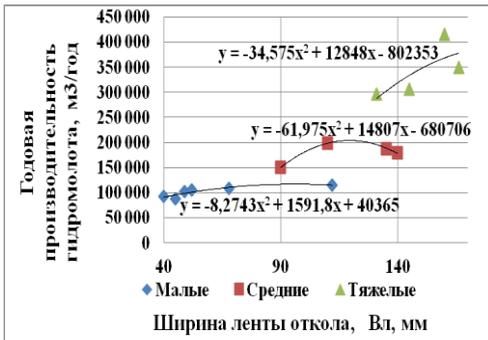


Рисунок 14 – График зависимости производительности гидромолотов от ширины ленты откола для различных классов

Исследованиями установлено, что для повышения выхода фракционного мраморного щебня с показателем белизны $\geq 94\%$ необходимо на контакте с зоной включений серого (доломитизированного известняка) и желтого (ожелезненного) мрамора оставлять целик шириной, равный двум и более откалываемым лентам при работе тяжелого гидромолота:

$$B_u \geq 2 B_l, \quad (7)$$

где B_u – ширина охранного целика, м;

B_l – ширина откалываемой ленты, м.

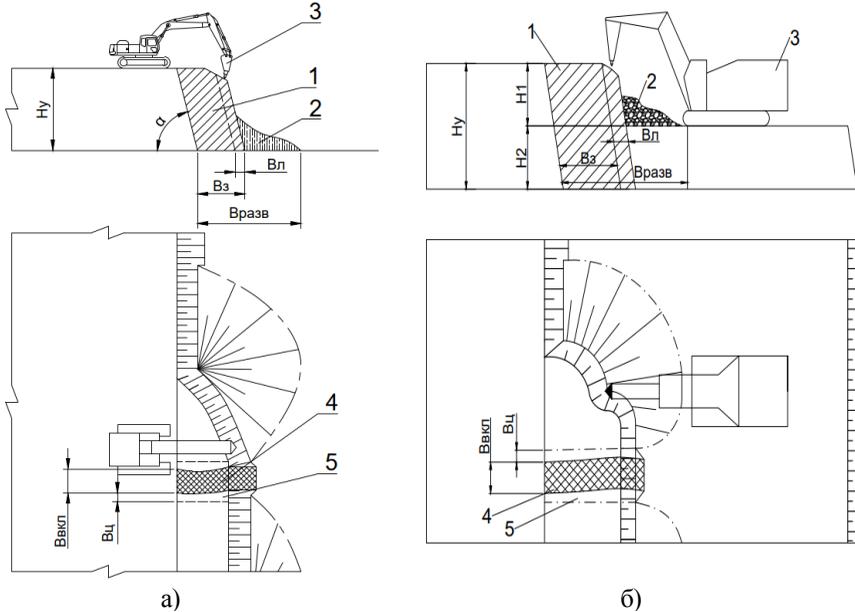


Рисунок 15 – Паспорт забоя в зоне контакта белого мрамора с включениями: а) - с верхней постановкой тяжелого гидромолота;

б) - с нижней постановкой тяжелого гидромолота

1 – массив мрамора; 2 – развал раздробленной горной массы; 3 – гидромолот; 4 – зона включений серого (доломитизированного известняка) и желтого (ожелезненного мрамора); 5 – охранный целик

H_v – высота уступа, м; H_1 – высота верхнего подступа, м; H_2 – высота нижнего подступа, м; V_z – ширина заходки, м; V_l – ширина откалываемой ленты, м; $V_{разв}$ – ширина развала, м; $V_{вкл}$ – ширина зоны включения, м; $V_{ц}$ – ширина охранного целика, м

Последовательность отработки зоны контакта следующая:

1. Отрабатывается массив белого мрамора с обеих сторон зоны включения с оставлением целика.
2. Отрабатывается зона включений и желтого мрамора с охранным целиком.

С целью обеспечения комплексности освоения запасов белого мрамора при повышении эффективности горнодобывающего предприятия разработан алгоритм выбора технологии его добычи, учитывающий трещиноватость, наличие кварцевых включений и иных вредных примесей (рисунок 16).

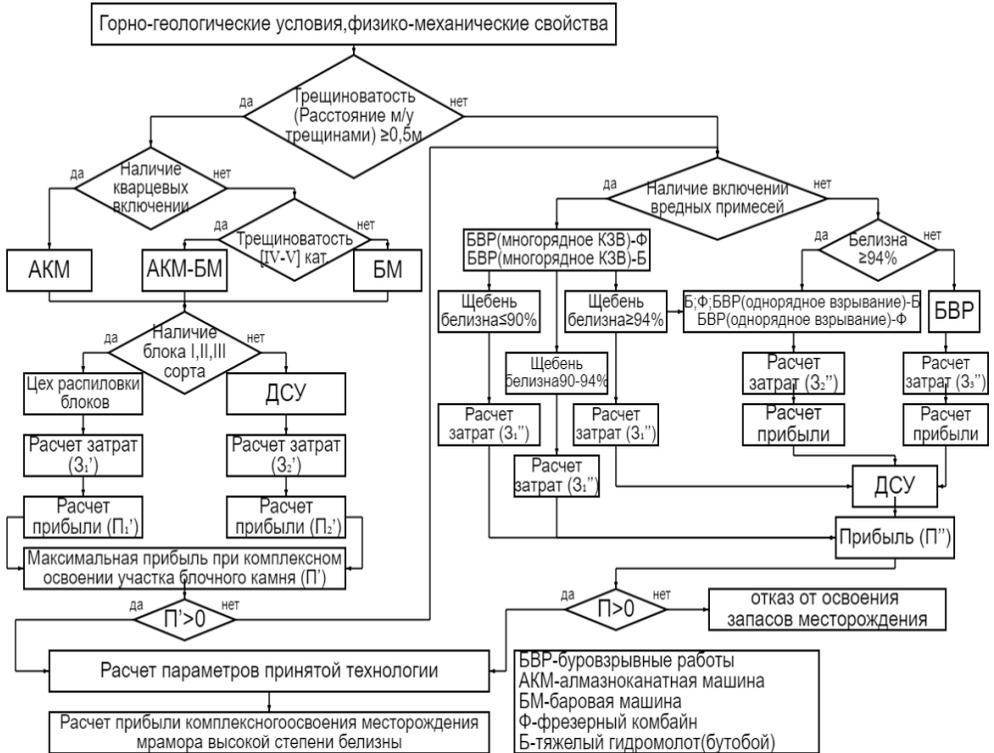


Рисунок 16 - Алгоритм выбора открытой геотехнологии разработки месторождений белого мрамора и определения экономических показателей

В четвертой главе проведена экономическая оценка целесообразности внедрения разработанных технологических решений комплексного освоения запасов Полоцкого и Еленинского месторождений белого мрамора

Экономическая оценка предложенных технологических решений была осуществлена для условий Полоцкого месторождения мрамора, включающая добычу и реализацию блочного камня и переработку некондиционного сырья для производства микрокальцита, что позволило повысить полноту освоения запасов до 80% при ожидаемом годовом эффекте 55,3 млн. руб.

В условиях Еленинского месторождения предложенная методика районирования позволила выделить участок для добычи блочного камня; применение вертикального демфера для изолирования участка по добыче мраморно-

го щебня обеспечило одновременную их выемку при достигнутом годовом эффекте 57,2 млн. рублей и увеличении рентабельности предприятия до 34%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации, являющейся законченной научно-квалификационной работой, дано новое решение актуальной научно-практической задачи повышения полноты и комплексности освоения запасов месторождений белого мрамора путем районирования карьерного поля для применения технологий одновременной добычи блочного камня и мраморного щебня, имеющей существенное значение для горнодобывающей отрасли страны.

Основные научные и практические результаты работы:

1. В результате анализа отечественной и зарубежной практики разработки месторождений белого мрамора установлено, что применяемые технологии добычи блочного камня и мраморного щебня являются взаимоисключающими в пределах одного участка недр. Повышение полноты и комплексности отработки запасов данных месторождений достигается разработкой технологий, позволяющих в пределах карьерного поля одновременно добывать блочный камень и мраморный щебень для производства микрокальцита.

2. Установлено, что на месторождениях белого мрамора с трещиноватостью ниже III категории возможна добыча блочного камня и мраморного щебня на одном участке недр. При этом определение зонированных участков основывается на их районировании по критериям степени трещиноватости массива, блочности и белизны готовой продукции.

3. Доказано, что одновременная добыча блочного камня и фракционного щебня в пределах карьерного поля обеспечивается созданием демпферной конструкции по контакту районированных участков разработки, форма и параметры которой определяются направлением развития фронта работ в плане и по глубине.

4. Установлено, что максимальная совокупная стоимость товарной продукции, получаемой из белого мрамора, достигается применением технологий с обоснованными параметрами механической и буровзрывной подготовки, исключая вредными включениями и обеспечивая минимальный выход фракции щебня 0-20мм.

5. Доказано, что применение однорядного взрывания на карьерах белого мрамора обеспечивает увеличение объема выхода товарной продукции из взорванного блока: фракции 40-200 мм с 52 до 60%, фракции более 200 мм в 5 раз, при расширении сетки скважин до 15-29% и снижении удельного расхода ВВ до 50%.

6. В результате опытно-промышленных испытаний при использовании однорядного взрывания с обоснованными параметрами достигнуто снижение потерь кондиционного сырья при селективной выемке до 5%, уменьшение вторичного отсева фракции 0-5 мм - до 9% и разубоживание вредными включениями – не более 4 %.

7. В работе обосновано применение безвзрывной технологии селективной отработки контактных зон гидромолотом тяжелого класса, обеспечивающей повышение эффективности и полноту освоения балансовых запасов белого мрамора путем снижения переизмельчения на 5-10% и увеличения выхода товарной продукции высоких сортов.

8. Обоснована целесообразность использования технологии механической и буровзрывной подготовки для условий месторождений «Еленинское» и «Полоцкое», расчетный экономический эффект составит, соответственно, 57,2 и 55,3 млн руб. в год.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

В изданиях, рекомендованных ВАК России и входящих в международные базы цитирования Web of Science

1. Pytalev, I.A. The Formation of Man-Made Landscape with the Use of Wastes of Mining and Metallurgical Production on the Example of the vostochny Quarry /Pytalev, I.A., Domozhirov, D.V., Gaponova, I.V., **Prokhorov, A.A.** //IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019; 272(2): 022179.

2. Ugolnikov, N.V. Improving the production technology of drilling and blasting operations by blasting of high ledges /Ugolnikov, N.V., Domozhirov, D.V., Karaulov, N.G., **Prochorov, A.A.** //IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020; 966(1): 012022.

3. Pytalev, I.A. Application of hydrohammers of heavy class in the development of marble deposits in mining operations /Pytalev, I.A., Domozhirov, D.V., Ugolnikov, N.V., **Prochorov, A.A.** // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020; 966(1): 012020.

4. Пыталев, И.А. Обоснование методики определения оптимальной высоты уступа на угольных разрезах с применением экскаваторов большой единичной мощности /Пыталев И.А., Доможиров Д.В., Пронин В.В., **Прохоров А.А.** // Маркшейдерский вестник. 2021. № 5-6 (144-145). С. 55-61.

5. Пыталев, И.А. Обеспечение высокого качества взрывной подготовки пород к выемке при открытом способе добычи в сложных горно-геологических условиях и существенном росте масштабов работ /Пыталев И.А., Доможиров Д.В., Угольников Н.В., **Прохоров А.А.**, Пронин В.В.// Маркшейдерский вестник. 2021. № 5-6 (144-145). С. 116-121.

6. Пыталев, И.А. Способ повышения качества подготовки пород к выемке при использовании эмульсионных взрывчатых веществ на карьерах с высокими уступами /Пыталев И.А., Доможиров Д.В., Пронин В.В., **Прохоров А.А.**// Горная промышленность. – 2021. – № 6. – С. 62-67. – DOI 10.30686/1609-9192-2021-6-62-67. <https://elibrary.ru/item.asp?id=47501648>

7. Пыталев, И.А. Обоснование области и опыта применения однорядного взрывания в условиях повышенных требований к качеству полезного ископаемого /Пыталев И.А., Доможиров Д.В., Е.Е. Швабенланд, Пронин В.В., **Прохоров А.А.** // Горная промышленность. – 2022. – № 1. https://mining-media.ru/images/2022/01_2022/110-115.pdf

В прочих изданиях

1. Доможиров, Д. В. Обоснование подхода к повышению полноты освоения запасов мрамора при совершенствовании технологии его добычи и пере-

работки / Д. В. Доможиров, **А. А. Прохоров**, И. А. Пыталев, И. В. Гапонова // Маркшейдерское и геологическое обеспечение горных работ: Сборник научных трудов по материалам II международной научно-практической конференции, Магнитогорск, 17–19 февраля 2015 года. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2015. – С. 105-108.

2. Доможиров, Д.В. Аутсорсинг процесса подготовки горных пород к выемке на карьерах строительного камня при использовании ЭВВ «Сибирит» на примере ООО «Уральский сибирит». / Д.В. Доможиров, И.И. Носов, **А.А. Прохоров**, В.И. Носов // В сборнике: Добыча, обработка и применение природного камня Сборник научных трудов. Под редакцией Г.Д. Першина. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2016. С. 86-90.

3. Доможиров, Д.В. Анализ способов подготовки блочного камня на карьерах уральского региона / Д.В. Доможиров, Н.Г. Караулов, **А.А. Прохоров**// Добыча, обработка и применение природного камня. Сборник научных трудов Международной технической конференции. Под редакцией Г.Д. Першина. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2018. С. 46-57.

4. Доможиров, Д.В. Обоснование рационального способа подготовки горных пород к выемке при добыче блочного камня / Д.В. Доможиров, Н.Г. Караулов, В.А. Фомин. **А.А. Прохоров** // Комбинированная геотехнология: переход к новому технологическому укладу. Сборник статей по результатам Международной конференции. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2019. С. 84-93.

5. Пыталев, И.А. Комплексное освоение месторождений мрамора с применением карьерного комбайна wirtgen /Пыталев И.А., Караулов Н.Г., Доможиров Д.В., **Прохоров А.А.** //Актуальные проблемы горного дела. 2020. № 1. С. 26-30.

6. Пыталев, И.А. Обоснование параметров открытой геотехнологии добычи мрамора высокой степени белизны, как ответ на вызовы рынка /Пыталев И.А., Доможиров Д.В., **Прохоров А.А.**// Комбинированная геотехнология: риски и глобальные вызовы при освоении и сохранении недр. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2021. С. 54-55.

7. Доможиров, Д.В. Обеспечение высокого качества взрывной подготовки пород к выемке при открытом способе добычи в сложных горно-геологических условиях и существенном росте масштабов работ / Д.В. Доможиров, Н.В. Угольников, Д.Б. Симаков, **А.А. Прохоров** // Комбинированная геотехнология: риски и глобальные вызовы при освоении и сохранении недр. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2021. С. 87-88