

**РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК**

**ОТДЕЛЕНИЕ НАУК О ЗЕМЛЕ**

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ПРОБЛЕМАМ ГОРНЫХ НАУК**

**ОТЧЕТ**

**О ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НАУЧНОГО СОВЕТА РАН  
ПО ПРОБЛЕМАМ ГОРНЫХ НАУК И КРАТКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ УЧРЕЖДЕНИЙ  
И ОРГАНИЗАЦИЙ ГОРНОГО ПРОФИЛЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ И СТРАН СНГ  
В 2022 ГОДУ**

Председатель Научного совета РАН  
академик РАН **К.Н.Трубецкой**

Ученый секретарь  
канд.техн.наук **А.Г.Красавин**

МОСКВА 2023

**Отчет о деятельности Научного совета РАН по проблемам горных наук и краткие результаты научно-исследовательских работ учреждений и организаций горного профиля Российской Федерации и стран СНГ в 2022 году. Составители: акад. К.Н.Трубецкой, канд. техн. наук А.Г.Красавин. – М.: ИПКОН РАН, 2023. – 160 с.**

Приведены сведения о деятельности Научного совета РАН по проблемам горных наук в 2022 году и результаты научно-исследовательских работ в данной области по материалам академических, отраслевых и учебных институтов и других организаций горного профиля Российской Федерации и ряда стран СНГ. Материалы, представленные в Отчете, приведены в редакции организаций, приславших краткие результаты важнейших исследований в области горных наук. Качество печати иллюстраций полностью соответствует качеству представленных оригиналов. Отчет не претендует на полноту изложения научной деятельности учреждений, представивших информацию, его цель – дать представление широкой горной общественности о проводимых в организациях исследованиях.

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
<b>I. ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ НАУЧНОГО СОВЕТА</b>	5
<b>II. РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ</b>	12
2.1. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ НЕДР ИМ. АКАДЕМИКА Н.В.МЕЛЬНИКОВА РАН (ИПКОН РАН).....	12
2.2. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ ДИНАМИКИ ГЕОСФЕР ИМЕНИ АКАДЕМИКА М.А.САДОВСКОГО РАН (ИДГ РАН) .....	20
2.3. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ХАБАРОВСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО ОТДЕЛЕНИЯ РАН ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА ДВО РАН (ИГД ДВО РАН) .....	25
2.4. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА ИМ. Н.А.ЧИНАКАЛА СО РАН (ИГД СО РАН).....	31
2.5. ИНСТИТУТ УГЛЯ ФЕДЕРАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЦЕНТРА УГЛЯ И УГЛЕХИМИИ СО РАН (ИУ ФИЦ УУХ СО РАН) .....	37
2.6. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР «ЯКУТСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК» ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА СЕВЕРА ИМ. Н.В.ЧЕРСКОГО СО РАН (ИГДС СО РАН) .....	46
2.7. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ, ЭКОЛОГИИ И КРИОЛОГИИ СО РАН (ИПРЭК СО РАН) .....	52
2.8. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА УрО РАН (ИГД УрО РАН).....	56
2.9. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ПЕРМСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР. ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ УрО РАН (ГИ УрО РАН) .....	68
2.10. ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ – ОБОСОБЛЕННОЕ ПОДРАЗДЕЛЕНИЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ФЕДЕРАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЦЕНТРА «КОЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР» РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК (Гои КНЦ РАН).....	73
2.11. ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКОЛОГИИ СЕВЕРА – ОБОСОБЛЕННОЕ ПОДРАЗДЕЛЕНИЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ФЕДЕРАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЦЕНТРА «КОЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК (ИППЭС КНЦ РАН).....	78
2.12. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ВСЕРОССИЙСКИЙ ИНСТИТУТ НАУЧНОЙ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ РАН (ВИНИТИ РАН).....	82
2.13. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУК ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ ДВО РАН .....	87
2.14. НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ «МЕХАНОБР-ТЕХНИКА» .....	88
2.15. ИНСТИТУТ ГОРНОЙ МЕХАНИКИ И ГЕОФИЗИКИ – МЕЖОТРАСЛЕВОЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР ГЕОМЕХ .....	88
2.16. ИНСТИТУТ «ЯКУТНИПРОАЛМАЗ» .....	91

2.17. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ СЕРГО ОРЖДОНКИДЗЕ .....	107
2.18. САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ .....	110
2.19. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ТУЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» (ТулГУ) .....	114
2.20. ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (ДФУ) .....	117
2.21. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ЮГО-ЗАПАДНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» .....	119
2.22. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «МАГНИТОГОРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Г.И.НОСОВА» ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА И ТРАНСПОРТА .....	120
2.23. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» (УГГУ) .....	125
2.24. ИНСТИТУТ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ .....	127
2.25. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «СЕВЕРОКАВКАЗСКИЙ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ» (ГТУ) .....	131
2.26. ФИЛИАЛ РГП «НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР ПО КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКЕ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН» «ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА ИМ. Д.А.КУНАЕВА» .....	135
2.27. КАРАГАНДИНСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АБЫЛКАСА САГИНОВА .....	137
2.28. ИНСТИТУТ ГЕОМЕХАНИКИ И ОСВОЕНИЯ НЕДР НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ .....	142
2.29. РЕСПУБЛИКАНСКИЙ АКАДЕМИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ И ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСКИЙ ИНСТИТУТ ГОРНОЙ ГЕОЛОГИИ, ГЕОМЕХАНИКИ, ГЕОФИЗИКИ И МАРКШЕЙДЕРСКОГО ДЕЛА МИНИСТЕРСТВА ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ .....	145
2.30. КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. К.И.САТПАЕВА .....	156



## I. ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ НАУЧНОГО СОВЕТА

В соответствии с Положением о Научном совете (утверждено Постановлением Бюро Отделения наук о Земле РАН 09.07.2003г. № 3000/7-55.6) основная его деятельность заключается в обобщении и популяризации новых знаний в области горных наук, содействии выполнению научных работ по комплексному эффективному освоению недр Земли, организации и проведении конференций и симпозиумов по актуальным проблемам, поддержке практического использования результатов исследований.

В соответствии с Постановлениями Бюро Отделения наук о Земле РАН от 06 мая 2008 г. № 13000/5-57, 09 сентября 2008 г. № 13000/9-88, 17 ноября 2009 г. № 13000/8-103, 06 сентября 2011 г. №13000/7-88, 23 января 2015 г. №13000/1-6, 27 февраля 2018 г. № 13000/2-5 и 19 февраля 2019 г. № 13000/1-2 были внесены дополнения в состав Научного совета РАН по проблемам горных наук, связанные с организационными изменениями. В состав Научного совета РАН по проблемам горных наук вошли директора академических институтов горного профиля, 7 академиков РАН, 6 членов-корреспондентов РАН, представители ведущих вузов и отраслевых институтов: всего 30 специалистов горного и геологического профиля.

По традиции Научный совет РАН по проблемам горных наук был одним из организаторов и активным участником проведения совместно с Горным институтом НИТУ «МИСиС» 01–04 февраля 2022г. в г. Москве XXX Международного научного симпозиума «Неделя горняка - 2022».

С докладами на пленарном заседании научного симпозиума «Неделя горняка - 2022» выступили:

- **Черникова Алевтина Анатольевна**, ректор НИТУ «МИСиС».

Приветственное слово.

- **Козлов Александр Александрович**, министр природных ресурсов и экологии Российской Федерации.

Доклад: «Реализация нацпроекта «Экология» и взаимодействия Минприроды с предприятиями горно-металлургического сектора».

- **Евтухов Виктор Леонидович**, зам. министра, статс-секретарь Министерства промышленности и торговли Российской Федерации.

Доклад: «Государственная политика взаимодействия Минпромторга с предприятиями горно-металлургической отрасли на ближайшую перспективу».

- **Никифорович Сергей Олегович**, генеральный директор ОАО «БелАЗ».

Доклад: «Перспективные технологии и продукты ОАО «БелАЗ».

- **Питер Росс Маккари**, руководитель школы машиностроения и горного дела Университета Квинсленда, Австралия.

Доклад: «Умные машины для горной промышленности: опыт Австралии».

- **Исмагилов Ринат Иршатович**, директор горнорудного дивизиона УК «Металлоинвест».

Доклад: «Перспективные цифровые решения горнорудного дивизиона УК «Металлоинвест».

С приветствиями к собравшимся на юбилейном заседании Международного симпозиума «Неделя горняка - 2022» обратились зам. министра энергетики Российской Федерации **Г. Михайлов**, зам. министра Минпромторга Российской Федерации **А.А.Марков**, начальник Управления Министерства природных ресурсов и экологии **А.В.Руднев**, зам. губернатора Кузбасса **А.А.Панов**, президент Академии горных наук **акад. РАН Ю.Н.Мальшев**.

I. В рамках программы научного симпозиума «Неделя горняка - 2022» 04 февраля 2022 года под руководством члена Бюро Научного совета РАН по проблемам горных наук чл.-корр. РАН **В.Н.Захарова** было проведено заседание Научного совета РАН по проблемам горных наук с участием сотрудников ИПКОН РАН, ведущих специалистов Горного института НИТУ «МИСиС» и ряда отечественных и зарубежных представителей организаций горного профиля. Заседание проходило как очно, так и в ОНЛАЙН режиме.

**Очно присутствовали:** чл.-корр. РАН **В.Н.Захаров** (директор ИПКОН РАН), *к.т.н. А.Г.Красавин* (ученый секретарь НС РАН по проблемам горных наук, с.н.с. ИПКОН РАН), *акад. РАН Ю.Н.Мальшев* (научный руководитель Геологического музея им. В.И.Вернадского РАН), *проф., д.т.н. С.Д.Викторов* (зав.отделом ИПКОН РАН), *проф., д.э.н. А.А.Черникова* (ректор НИТУ «МИСиС»), *проф., д.э.н. А.В.Мясков* (директор Горного института НИТУ «МИСиС»),

*д.т.н. В.М.Закалинский* (в.н.с. ИПКОН РАН), *к.т.н. А.В.Шляпин* (зам. директора ИПКОН РАН), *проф., д.т.н. Ю.П.Галченко* (в.н.с. ИПКОН РАН), *д.т.н. В.А.Бобин* (зав. отделом ИПКОН РАН), *д.т.н. О.Н.Малинникова* (зав. лабораторией ИПКОН РАН), *проф., д.т.н. И.В.Шадрунова* (зав. отделом ИПКОН РАН), *А.Н.Прошляков* (н.с. ИПКОН РАН), *к.т.н. М.С.Стефунько* (н.с. ИПКОН РАН), *к.т.н. Ф.С.Белуосов* (н.с. ИПКОН РАН), *А.А.Раузин* (зам. гл. редактора журнала «Горная промышленность»), представители др. организаций.

Участвовали в ОНЛАЙН режиме: *чл.-корр. РАН Д.Р.Каплунов* (зам. председателя НС РАН по проблемам горных наук, г.н.с. ИПКОН РАН), *чл.-корр. РАН А.А.Барях* (директор Ги УрО РАН), *чл.-корр. РАН И.Ю.Рассказов* (научный руководитель ИГД ДВО РАН), *д.т.н. Г.В.Калабин* (в.н.с. ИПКОН РАН), *д.т.н. С.Б.Кулибаба* (в.н.с. ИПКОН РАН), *к.т.н. Н.Н.Ефремовцев* (с.н.с. ИПКОН РАН), *к.т.н. Н.А.Милетенко* (с.н.с. ИПКОН РАН), *С.П.Остапенко* (ГоИ КНЦ РАН), *А.Г.Собеневский* (нач.отдела ИПКОН РАН), *д.т.н. С.В.Лукичев* (директор ГоИ КНЦ РАН), *Л.И.Назарова*, *д.т.н. Ю.В.Дмитрак* (зав.отделом ИПКОН РАН), *д.т.н. А.Петров* (Ги НИТУ «МИСиС»), *С.Смирнов* (НИТУ «МИСиС»), *проф., д.т.н. В.М.Трушко* (проректор СПГГУ), *проф. РАН, д.т.н. В.А.Еременко* (НИТУ «МИСиС»), *д.т.н. И.В.Соколов* (директор ИГД УрО РАН), *проф., д.т.н. М.В.Рыльникова* (зав. отделом ИПКОН РАН), *чл.-корр. РАН В.Л.Яковлев* (г.н.с.ИГД УрО РАН), *д.т.н. С.П.Месяц* (Ги НИТУ «МИСиС»), *д.т.н. С.В.Корнилков* (ИГД УрО РАН), *О.Костюнина*, *А.Симидоцкий*, *А.Семячков*.

Перед началом работы Научного совета РАН по проблемам горных наук чл.-корр. РАН **В.Н.Захаров** от имени всех присутствующих на заседании специалистов почтил память минутой молчания ушедших из жизни за прошедший период двух членов Научного совета – проф., д.т.н. **Ж.В.Бунина** (РГГРУ) и чл.-корр. РАН **Г.И.Грицко** (ИУ СО РАН).

На заседании Научного совета РАН по проблемам горных наук был заслушан и обсужден доклад ведущего научного сотрудника, проф., докт. техн. наук **Галченко Юрия Павловича** на тему: **«Противоречия и проблемы горной экологии при устойчивом развитии природы и общества»**.

Докладчиком было отмечено, что термин «экология», который был введен в обиход немецким биологом Эрнестом Геккелем в XIX веке, как наука о «взаимоотношениях организмов между собой», за долгие годы применения обзавелся множеством новых значений и функций, превратившись в сфере знаний Наук о Земле в термин «Геоэкология», содержание которого дано акад. В.И. Осиповым, как наука, изучающая геосферы Земли, как среду обитания человека и других организмов. И, наконец, появилось сформулированное классиками горных наук понятие Горная экология - одна из горных наук, изучающая закономерности воздействия человека на окружающую среду в сфере горного производства с целью разработки научных основ процессов добычи и переработки полезных ископаемых, обеспечивающих оптимальное воздействие горного производства на окружающую среду.

В отличие от других экологий, где доминируют пассивный познавательный накопительный подход к определению целей и задач, содержание понятия горной экологии имеет активно - созидательный характер, так как «обеспечить оптимальное воздействие горного производства на природную среду» - реально можно только путем частичного или полного изменения применяемых горных технологий.

Планета Земля сформировалась в результате масштабных космических, геологических и геохимических процессов, на которые затем наложился процесс возникновения и развития биосферы, существующей за счет преобразования энергии Солнца. Борьба за эту энергию предопределила огромное разнообразие видов живых существ.

Появление и становление человека, как одного из компонентов биосферы, также живущего за счет солнечной энергии, первоначально не вызвало особых возмущений в окружающей его среде. На первой стадии своего развития, когда человек был собирателем и охотником (*Homo habilis*), он, так же, как и другие обитатели планеты, получал свою долю энергии нашего светила, за счет природных циклов обращения вещества и энергии. Численность людей определялась запасом биомассы в рамках естественной пищевой пирамиды и регулировалась механизмом гомеостаза.

Реализация этих «жизнеобеспечивающих» видов деятельности потребовала дополнительного уничтожения части естественной биоты Земли для создания огромной промышленной инфраструктуры и транспортной сети, охвативших весь Земной шар. С экологической точки зрения все это означает, что человек и естественная биота Земли являются биологическими антагонистами, при взаимодействии которых абсолютный приоритет интересов одной стороны означает прекращение существования другой. Многолетнее игнорирование этого фундаментального противоречия в результате накопления методических ошибок привело к тому, что разрушение естественной биоты Земли по своему масштабу стало планетарным, а по характеру – практически необратимым.

Главной особенностью, построенной человечеством технократической цивилизации, является практически полная зависимость всех её показателей от состояния минерально-сырьевого комплекса. Причём именно переход к состоянию этой зависимости и предопределил, в своё время, начало, продолжающегося и сейчас, мощного цивилизационного скачка. Открыв для себя доступ к законсервированным в литосфере запасам материалов и энергии, человек получил возможность преодолеть в своём развитии те ограничения, которые накладывают на любую биологическую систему законы природы. На протяжении последнего тысячелетия (а это лишь мгновение в истории биосферы) человек перестал довольствоваться лимитом солнечного излучения и начал проживать литосферные запасы вещества и энергии с необходимой для развития атмосферы интенсивностью.

За последние 100 с небольшим лет народонаселение Земли возросло почти в 5 раз – с 1,6 млрд. чел. до 7,9 млрд. чел. Причём, первое удвоение населения произошло за 65 лет, а второе уже за 38 лет.

Такая динамика стала возможной только в условиях ещё более быстрого расширения производства энергии и материальных благ, основная часть которых обеспечивается развитием минерально-сырьевого комплекса.

При этом, наибольшая экологическая опасность связана не только с общим объемом вещества, перемещаемого из недр на земную поверхность, но и со структурой этого потока, содержащего огромную долю попутных пустых пород, количество которых колеблется от 1,1 до 7,6 тонн на каждую тонну добытого полезного ископаемого. Сюда же следует добавить дополнительные объёмы твёрдых отходов от последующих пределов минерального сырья, а также быстрорастущие объёмы твердых отходов от «добычи пустоты» при развитии подземного строительства.

В результате, в недрах и на поверхности Земли, образуется огромное количество полостей, пустот и провалов в виде отработанных шахт, карьеров, мульд сдвижения. Объёмы этих пустот адекватны объёму добытого вещества литосферы, а их погашение чаще всего производится за счёт самопроизвольных природных процессов обрушения горных пород, со всеми возможными и пока не до конца понятыми негативными экологическими последствиями.

Говоря о перспективе, следует констатировать, что по мере отработки наиболее богатых и доступных месторождений, это экологически невыгодное соотношение между полезными ископаемым и пустыми породами в общих объёмах добычи имеет устойчивую тенденцию к ухудшению.

В то же время рост добычи минеральных ресурсов литосферы, которые в основном используются для формирования среды обитания человека и производства различных благ, обеспечивающих постоянное повышение качества этой среды, происходят на совершенно ином масштабном уровне. За рассматриваемый период добычи твердых полезных ископаемых выросла в 127 раз, добыча нефти и газа, соответственно, в 148 и 110 раз. При этом извлечение попутных пустых пород выросло почти в 190 раз.

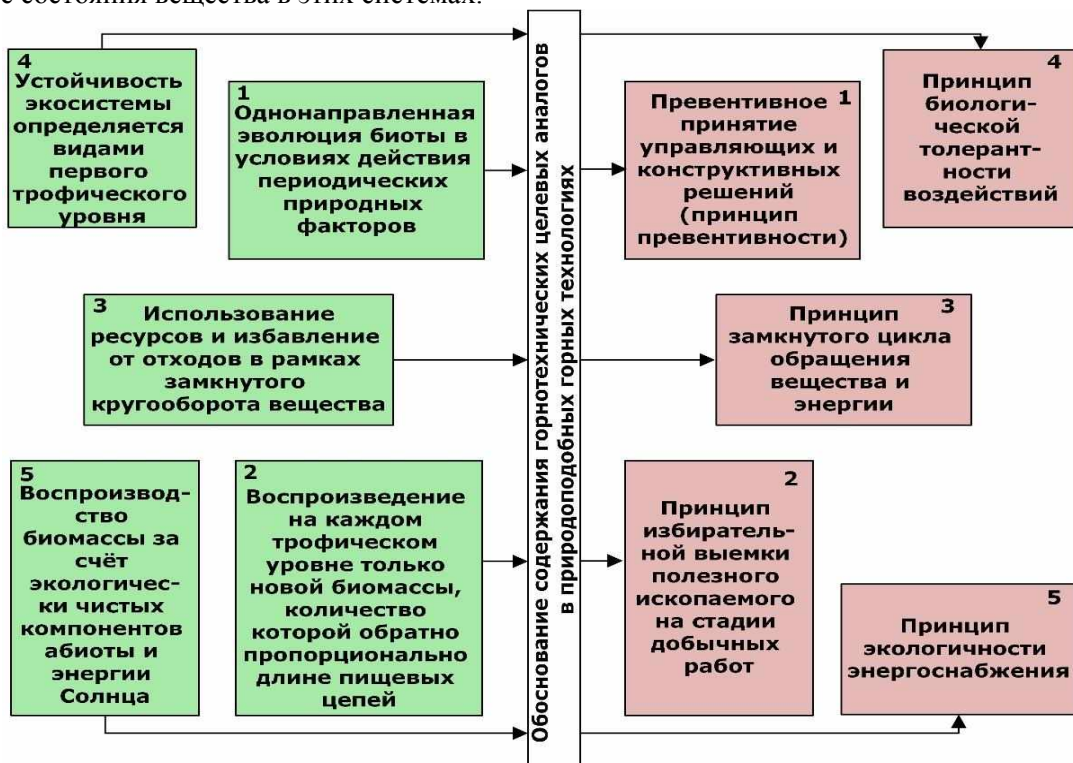
В результате, сегодня, ежегодно добывая из литосферы более двух тысяч миллиардов тонн вещества, мы превращаем в конечную продукцию или энергию не более 30-40% этого количества. За рассматриваемый период, добычи вещества литосферы на одну душу населения рос в среднем на 15,9% в год, а валовой внутренний продукт – всего на 5,4% в год.

В условиях антогонизма интересов Человека и Природы методологической основой этой стратегии в нашей области знаний может быть только - концепция коэволюционного взаимодействия Техно и биосферы в процессе освоения минеральных ресурсов литосферы.

Это означает, что совместное существование Природы и Техносферы возможно только при реализации принципа параллельного неразрушающего развития несовместимых систем. Академик Н.Н.Моисеев определяет такое развитие как коэволюцию антагонистов. Вполне очевидно, что воплощение этой доктрины в жизнь потребует для каждой области знаний или типа хозяйственной деятельности создания и научно- методического обеспечения локальных концепций экологической безопасности.

Учитывая антагонистический характер противоречий между техно- и биосферой, были сформулированы методические подходы к решению вопроса о возможности конвергенции биологических и технических знаний на основе положений гомеостатики о способах поддержания жизненно важных параметров взаимодействующих систем путём управления противоречиями. На этой основе применения методов гомеостатической трансформации стал возможен переход от анализа принципов функционирования равновесных биологических систем к синтезу функциональной структуры горных технологий, экологические последствия, применения которых будут сбалансированы с локальной устойчивостью естественной биоты, воспринимающей техногенную нагрузку. Это позволило перенести биологическую информацию в техносферу путём поэтапного формирования геотехнологического гомеостата на основе структуры гомеостата биологического с заменой содержательных элементов на геотехнологические целевые аналоги. Применительно к проблеме комплексного освоения недр это означает, что антагонистические по-своему внутреннему содержанию компоненты действующих природно-технических систем не противопоставляются друг другу, а объединяются в составе конвергентной технологии комплексного освоения месторождения, у которой экологическая сбалансированность между несовместимыми компонентами достигается за счет подобия их функциональных структур.

Система связей биотехнологических принципов формирования конвергентных горных технологий, показанная на рисунке, отражает иерархию их функциональной дифференциации по характеру участия в экологически сбалансированном процессе разработки месторождения. Первые два, размещённых по вертикали принципа формируют новый облик горной технологии добычных работ, возникающей в результате гомеостатической трансформации в техносферу соответствующих принципов функционирования биологических систем, определяющих изменение состояния вещества в этих системах.



Рассматривая эту проблему с точки зрения возможного влияния на эволюцию человеческого общества следует выделить следующие основные проблемы:

- направленность ожидаемых изменений;
- источники или факторы развития;

- формы, в которых совершается это развитие.

Содержание первой позиции определяется системным антагонистическим противоречием между Человеком и Природой, отражающим взаимоисключающие способы получения ими энергии Солнца. Для динамики общественного развития это означает, что необходимый количественный рост антропосферы может быть обеспечен только при глубоком качественном изменении общественного сознания в направлении экологизации мышления во всех сферах деятельности. В методологическом же плане это означает абсолютную необходимость перехода от экономического императива при принятии решений к императиву экологическому на основе теории коэволюции антагонистических систем.

Источником (или фактором) именно такого направления ожидаемых изменений в развитии общества является всё более очевидная перспектива дефицита всевозможных природных ресурсов, беспрецедентного накопления во всех геосферах Земли огромных объемов, не разлагаемых биотой твердых, жидких и газообразных отходов. Поэтому рассматривая формы общественного развития в технологической области, можно предположить, что возможности и перспективы преодоления системного экологического кризиса будут связаны с коренными изменениями представлений о содержании понятия прогресса, как разновидности процесса развития. Обязательным, а вполне возможно - и основным требованием к качеству прогрессивных решений станет экологическая сбалансированность результатов их применения с условиями и ограничениями естественной или искусственной биоты на нарушаемых территориях. Так как фундаментом развития общества и основной опасностью для живой природы являются применяемые технологии, то их перспективная модернизация должна идти в направлении создания и всеобъемлющего использования природоподобных технологий во всем разнообразии их возможностей.

Именно такая форма революционного преобразования технологической парадигмы развития общества открывает возможность для коэволюционного взаимодействия системных антагонистов – Человека и живой природы Земли.

Вопросы по докладу были заданы проф., д.т.н. *С.Д.Викторовым*, акад. РАН *Ю.Н.Мальшевым*, проф., д.т.н. *В.А.Бобиным*, проф., д.э.н. *А.В.Мясковым*, д.т.н. *В.М.Закалинским*, чл.-корр. РАН *Д.Р.Каплуновым*, д.т.н. *С.С.Кубриним*, чл.-корр. РАН *В.Н.Захаровым*.

По докладу выступили проф., д.т.н. *С.Д.Викторов*, проф., д.э.н. *А.В.Мясков*, проф., д.т.н. *В.А.Бобин*, чл.-корр. РАН *Д.Р.Каплунов*, акад. РАН *Ю.Н.Мальшев*, чл.-корр. РАН *В.Н.Захаров*.

В заключение работы Научного совета РАН по проблемам горных наук член Бюро Научного совета *проф., д.э.н. А.А.Черникова* отметила, что горная наука понесла в последние годы большие потери в лице акад. РАН *Л.А.Вайсберга*, чл.-корр. РАН *Л.А.Пучкова*, проф., д.т.н. *А.П.Вержанского*.

Проф., д.э.н. *А.А.Черникова* выразила надежду о сотрудничестве в совместных научно-исследовательских работах университета с академическими и отраслевыми институтами горного профиля, которые будут проводиться в 2022 году в НИТУ «МИСиС» и принять активное участие в проектах и образовательных программах.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук (ИПКОН РАН) и ООО «Майкромайн Рус» на Заседании научного совета РАН по проблемам горных наук, которое состоялось в рамках проведения XXX – Международного научного симпозиума «Неделя горняка – 2022», подписали Соглашение о сотрудничестве, направленное на совместную работу по развитию цифровых технологий в горном деле и повышение квалификации исследователей и специалистов.

**II.** Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Российская академия наук, Отделение наук о Земле РАН, Научный совет РАН по проблемам горных наук, Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова, Совет молодых ученых и специалистов 14-18 ноября 2022 г. провели в здании ИПКОН РАН 5 конференцию Международной научной школы академика К.Н.Трубецкого **«Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр»** при информационной поддержке научно-технического и производственного журнала «Маркшейдерия и недропользование».

Основные направления работы школы:

1. Проблемы геомеханики и разрушения горных пород.

2. Газодинамика и рудничная аэрология.
3. Совершенствование методов освоения месторождений полезных ископаемых.
4. Управление производством, экономические и социальные проблемы освоения недр.
5. Цифровизация и робототехника в горнодобывающем секторе. Современные методы цифровой обработки информации в системах контроля и мониторинга горнотехнических систем.
6. Природоподобные технологии горно-обогачительного производства для эффективного освоения недр.
7. Экологическая и промышленная безопасность горных работ.

Работа школы проходила на пленарных и секционных заседаниях с широким обменом мнениями, научным и производственным опытом.

На 5-ю конференцию Международной научной школы академика К.Н.Трубецкого «**Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр**» были представлены 143 доклада участников – руководителей, ученых и специалистов академических, отраслевых и учебных институтов, предприятий горной промышленности России из городов Москвы, Санкт-Петербурга, Екатеринбурга, Хабаровска, Мирного, Якутска, Иркутска, Стерлитамака, Магнитогорска, Новокузнецка, Кемерово, Новосибирска, Челябинска, Читы, Петропавловска. Иностранные участники представляли научные организации Казахстана, Монголии и Германии из городов Алматы, Атырау, Караганды, Алчаевска, Улан-Батора.

Материалы конференции научной школы акад. К.Н.Трубецкого опубликованы в сборнике конференции в ноябре 2022 г.

Со вступительным словом при открытии научной школы академика К.Н.Трубецкого выступил директор ИПКОН РАН академик РАН **В.Н.Захаров**.

С приветственным словом выступил руководитель Международной научной школы «Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр» академик РАН **К.Н.Трубецкой**, советник Президиума РАН, главный научный сотрудник ИПКОН РАН.

На пленарном заседании были заслушаны доклады:

- директора ИПКОН РАН академика РАН **В.Н.Захарова** – о проблемах мониторинга и управления горнотехническими системами на современном этапе развития горных наук;
- руководителя Пермского федерального исследовательского центра УрО РАН академика РАН **А.А.Баряха** – о геомеханике минеральных солей и проблемах их безопасного освоения;
- ученого секретаря ИПКОН РАН д.т.н. **В.С.Федотенко** – о сути цифровизации горнотехнических систем;
- сотрудника ИГД им. Н.А.Чинакала **Л.А.Назарова** – об определении газокинетических и деформационных свойств углей на основе решения обратных задач по данным экспериментов;
- вед.научн.сотр. ИПКОН РАН проф., д.т.н. **Е.И.Панфилова** – о физико-химической геотехнологии – магистральном направлении эффективного освоения минеральных ресурсов недр Земли;
- академика Республики Казахстан **М.Ж.Битимбаева** – об инновационных технологических схемах, комбинированных геотехнологий с полным текущим циклом недропользования и замкнутым кратным использованием металлов;
- зав. лабораторией ИПКОН РАН к.т.н. **Д.А.Клебанова** – о больших данных для развития методов прогнозной аналитики при управлении горнотехнических систем;
- вед.научн.сотр. ИПКОН РАН д.т.н. **В.Н.Одинцева** – о развитии горной геомеханики с использованием методов DATA MINING;
- зав. лабораторией ИПКОН РАН к.т.н. **Д.Н.Радченко** – о развитии научно-методических подходов к комплексному использованию техногенного минерального сырья;
- ученого секретаря ИГД УрО РАН к.т.н. **А.А.Панжина** – об оценке параметров напряженно-деформированного состояния массива горных пород геодезическими методами.

Повышенный интерес к получению новых фундаментальных и прикладных знаний в области комплексного освоения и сохранения недр Земли нашли отражение в докладах и выступлениях участников Международной конференции.

Руководителями всех проведенных секций был отмечен высокий уровень представленных докладов, живой интерес участников, который выражался в большом количестве задаваемых на секциях вопросов, основательном обсуждении каждого доклада и общей творческой научной атмосфере, созданной работой участников.

### ***Участники конференции решили:***

- основные цели и задачи, поставленные организаторами, достигнуты. На пленарных заседаниях и секциях сделаны доклады, которые опубликованы в сборнике научных трудов по актуальным проблемам горных наук и промышленности, связанные с совершенствованием существующих и созданием высокоинтенсивных автоматизированных и роботизированных добычных комплексов для подземного и открытого способов разработки;

- рассмотреть в кругу специалистов возможность формирования условий реализации комплексного освоения недр за счет изменения нормативной и законодательной базы в области недропользования;

- способствовать повышению уровня квалификации специалистов горнодобывающей отрасли за счет внедрения в программы учреждений высшего профессионального, дополнительного профессионального и поствузовского образования информации о современном состоянии горной науки и техники;

- отметить, что предложенные идеи и представленные разработки 5-й конференции Международной научной школы академика РАН К.Н.Трубецкого в области комплексного освоения и сохранения недр Земли актуальны, востребованы, частично реализованы и являются стратегическими направлениями дальнейшего развития горных наук;

- поддержать приведенный выше перечень фундаментальных и прикладных исследований в целом ряде междисциплинарных научных направлений и задач;

- одобрить целесообразность проведения совещания членов Международной научной школы в форме конференций для обсуждения текущих результатов и перспектив развития горной науки;

- считать важнейшей задачей научной конференции поддержку и воспитание молодых научных сотрудников при выполнении научно-исследовательских работ по проблемам рационального и комплексного освоения и сохранения недр Земли;

- рассмотреть возможность разработки совместных проектов с научными, учебными и производственными учреждениями горного профиля России и стран ближнего зарубежья;

- в частности, профессором ***Битимбаевым М.Ж.*** внесено предложение продолжить и усилить сотрудничество с учеными ИПКОН РАН по обозначенным направлениям комбинированных геотехнологий и вопросам экологической безопасности при освоении недр в формате совместных научно-исследовательских проектов.

- рассмотреть возможность прохождения производственной и преддипломных практик с заключением договоров между вузами горного и геологического профиля и предприятиями минерально-сырьевого комплекса;

- оргкомитету рассмотреть возможность включать в сборник трудов конференции проект решения по очередной проводимой конференции;

- планировать подготовку и проведение 6-й конференции Международной научной школы академика РАН К.Н.Трубецкого «Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр» в 2024 году.

- просить редакцию «Горного журнала», «Маркшейдерии и недропользования» об опубликовании отчетных материалов о проведении 5-й конференции Международной научной школы академика РАН К.Н.Трубецкого на страницах указанных изданий.

**В целях укрепления научного и образовательного сотрудничества, обмена информацией и рекламы достижений институтов** в 2022 году Научным советом РАН по проблемам горных наук был подготовлен и опубликован ***Отчет о деятельности Научного совета РАН по проблемам горных наук и краткие результаты научно-исследовательских работ учреждений и организаций горного профиля РФ и стран СНГ в 2021 году***, в который были включены краткие результаты важнейших результатов научно-исследовательских работ **13-ти НИИ РАН, 2-х отраслевых институтов, 8-ми вузов горно-геологического профиля России и 6-ти институтов и университетов СНГ (Республика Казахстан, Кыргызская Республика, Республика Беларусь, Донецкая Народная Республика).**



## II. РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

### 2.1. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ НЕДР ИМ. АКАДЕМИКА Н.В.МЕЛЬНИКОВА РАН

#### Важнейшие результаты фундаментальных исследований по базовому бюджетному финансированию

Разработана модель устойчивого развития горнотехнической системы, учитывающая компенсацию рисков ее функционирования в течение всего срока освоения месторождений твердых полезных ископаемых под воздействием внутренних и внешних факторов на базе комплексной трансформации систем сбора и обработки цифровой информации о свойствах, структуре и состоянии техногенно преобразуемого участка недр и оптимизации параметров технологических процессов, как основы проектирования геотехнологий с автономным управлением оборудованием горно-транспортного комплекса при отсутствии людей в опасных зонах карьеров и подземных рудников (рисунок 1).



Рисунок 1

На основе установления закономерностей формирования напряженно-деформированного состояния массива в зоне очистных работ обоснованы параметры инновационной геотехнологии совместной разработки разносортных руд на сверхглубоких (2 км) горизонтах рудников, предусматривающая предконцентрацию бедных руд под землей и использование пустых пород для закладки выработанного пространства, что позволяет создать, устойчивую горнотехническую систему горного производства, существенно повышающую эффективность и безопасность работ, за счет внедрения автоматизированных комплексов горно-обогатительного производства.

Технология совместной разработки сплошных сульфидных и вкрапленных руд на сверхглубоких горизонтах рудников Норильского района с использованием пустых пород для закладки выработанного пространства (рисунки 2-4).

Выдвинута и разработана гипотеза о возможности гомеостатической трансформации функциональной структуры равновесных биологических систем в техносферу и предложена теоретическая концепция экологической стратегии устойчивого развития минерально-сырьевого комплекса на основе создания и применения конвергентных технологий разработки месторождений твердых полезных ископаемых, обеспечивающих параллельное неразрушающее взаимодействие природных и горнотехнических систем комплексного освоения недр. Развитие предложенной концепция применительно к проблеме снижения углеродного следа твердотопливной энергетики позволила научно обосновать и создать комбинированную природоподобную технологию декарбонизации газовых выбросов в атмосферу при угольной генерации энергии (рисунок 5).



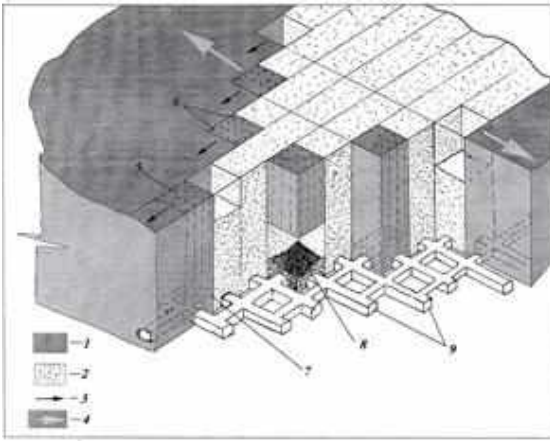


Рисунок 2 - Принципиальная схема развития фронта очистных работ с совместной отбойкой вкрапленных и сплошных руд по методу VCR I – руда; 2 – закладочный массив; 3 – направление движения очистных забоев; 4 – направление движения фронта очистных работ; 5 – очистной блок; 6 – параллельные скважины ( $d=120-200$  мм); 7 – веерные скважины ( $d=51-72$  мм); 8 – отбитая руда

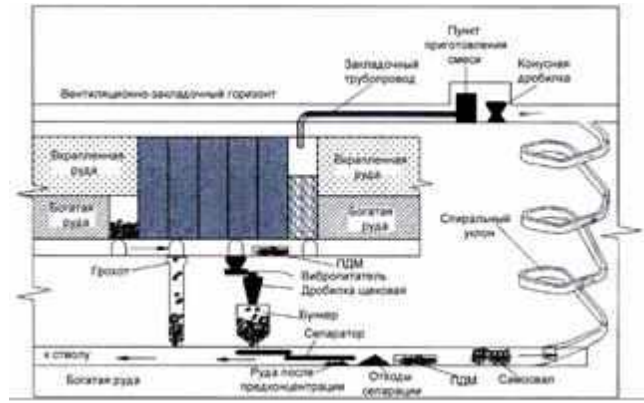


Рисунок 3 - Горнотехническая система разработки разнородных руд Норильского района на больших глубинах с предконцентрацией под землей отбитых вкрапленных руд и использованием пустых пород для закладки выработанного пространства

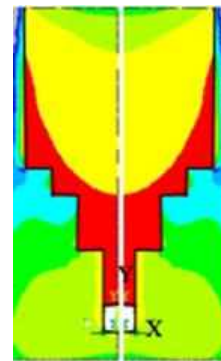
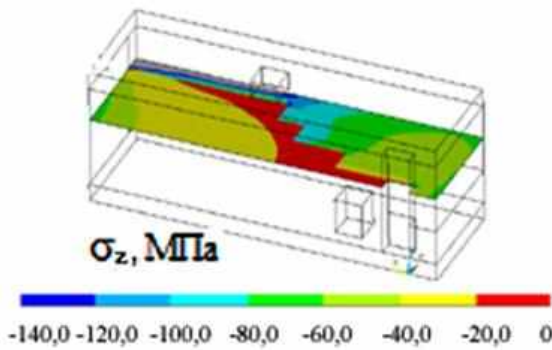


Рисунок 4 - Распределение напряжений в рудном и закладочном массивах при совместной разработке богатых и вкрапленных руд

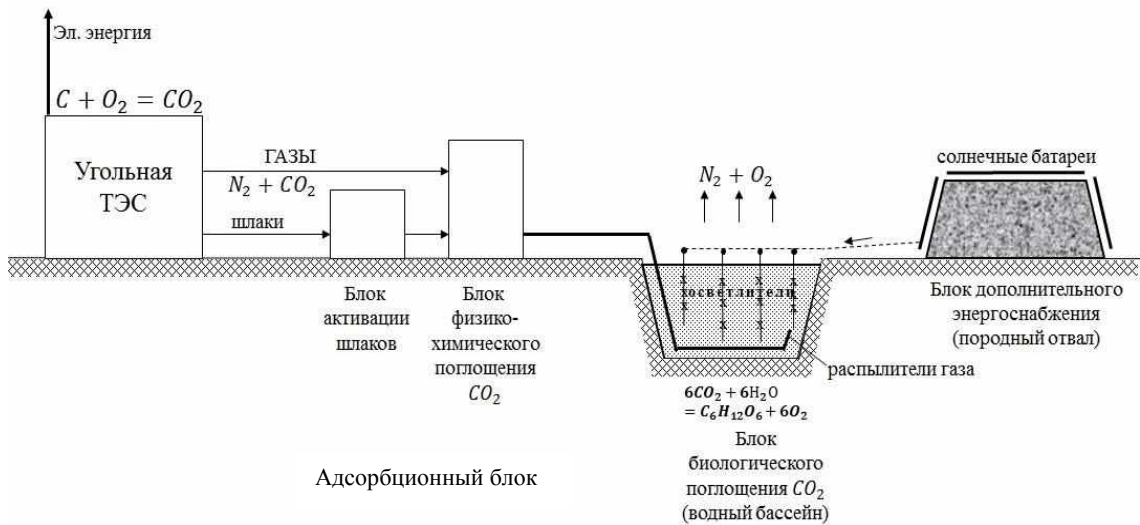


Рисунок 5 - Принципиальная схема технологического кластера по декарбонизации отходящих газов угольных ТЭС

Авторы: *акад. РАН В.Н. Захаров, проф., д.т.н. Ю.П. Галченко, проф., д.т.н. Калабин Г.В.*

## Список литературы:

*Трубецкой К.Н., Галченко Ю.П.* Экологические аспекты технологической парадигмы минерально- сырьевого комплекса при устойчивом развитии природы и общества. // Известия ТУЛГУ. Науки о Земле – 2022 - №1. – С. 18-38, DOI:10.46689/2218-5194-2022-1-118-38.

Подана заявка на патент «Способ обеспечения углеродной нейтральности использования угля для генерации тепловой энергии при работе электростанций» *Захаров В.Н., Галченко Ю.П., Калабин Г.В.* (Уведомление о приеме и регистрации заявки 30 июня 2022 г, рег. номер 2022117540).

Научно и экспериментально обоснованы энергетические и физико- химические методы интенсификации процессов и технологии комплексного извлечения и селективного разделения редких и редкоземельных элементов при глубокой переработке эвдиалитового концентрата Ловозерского месторождения, обеспечивающие снижение потерь ценных компонент на 29,0 % и повышение извлечения Zr на 8,5-%, РЗЭ – на 4,3% (рисунок 6).

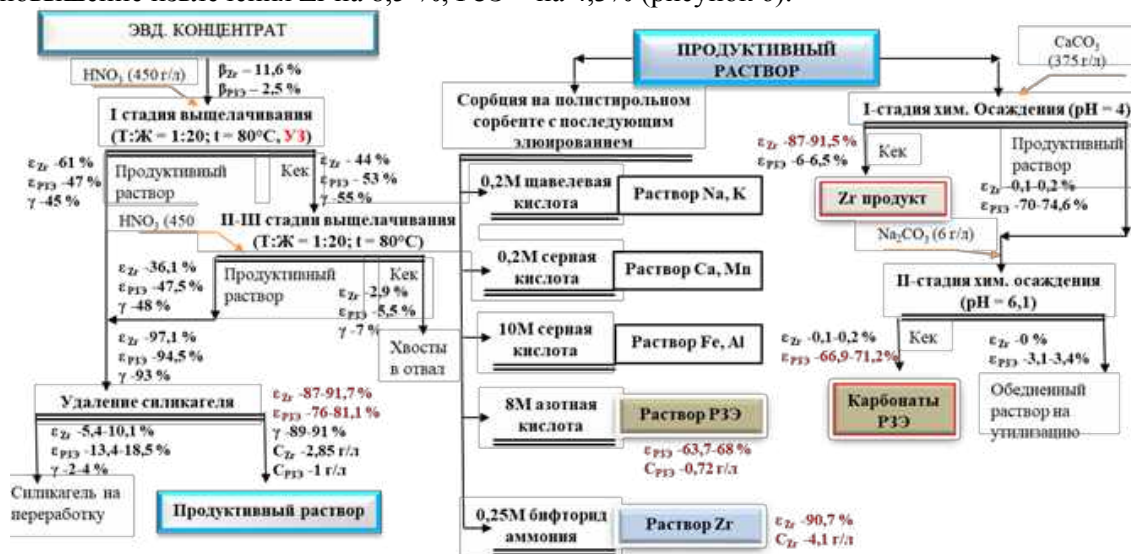


Рисунок 6 - Схема глубокой переработки эвдиалитового концентрата

*Авторы: акад. РАН Чантурия В.А., к.т.н. Миненко В.Г., к.т.н. Рязанцева М.В., к.т.н. Самусев А.Л., к.г.-м.н. Копорулина Е.В., проект РФ Министерства науки и высшего образования РФ № 13.1902.21.0018 (соглашение 075-15-2020-802).*

## Список литературы:

1. *Чантурия В.А.* Научное обоснование и разработка инновационных процессов извлечения циркония и РЗЭ при глубокой и комплексной переработке эвдиалитового концентрата. // Записки Горного института. 2022. Т. 256. **Scopus Q1**. С. 505-516. DOI: 10.31897/PMI.2022.31.

2. *V.A. Chanturiya, V.G. Minenko, A.L. Samusev, E.V. Koporulina, and G.A. Kozhevnikov.* Physicochemical and Energy Impact on the Process of Leaching of a Eudialyte Concentrate // Doklady Earth Sciences, 2022, Vol. 505, Part 2, pp. 534–542. DOI: 10.1134/S1028334X22080062. Doklady Earth Sciences — **Scopus Q3** <https://www.scimagojr.com/journalsearch.php?q=22561&tip=sid&clean=0>

3. *V.A. Chanturiya, V.G. Minenko, I.Zh. Bunin, A.L. Samusev, M.V. Ryazantseva.* The Effect of Energy Impacts on the Leaching Performance of Eudialyte Concentrate and Selective Separation of Zirconium and REE from Pregnant Solutions // Proceedings of the International Mineral Processing Congress and Exhibition (IMPC Asia-Pacific 2022), 22-24 August 2022, Melbourne, Australia + online. — Scopus, РИНЦ.

Теоретически и экспериментально обоснован механизм взаимодействия новых композиций реагентов дитиопириметана (ДТМ), композиционного реагента (КР) и бутилового ксантогената калия (БКК) с молибденитом и рением, заключающийся в образовании комплексного соединения нового реагента ДТМ с рением и химической адсорбции ДТМ и КР на ренийсодержащем молибдените, обеспечивающий повышение извлечения Re в коллективный концентрат на 6,8%, что позволило рекомендовать новую композицию реагентов для эффективного извлечения рения при переработке молибденовых руд сложного вещественного состава (рисунок 7).

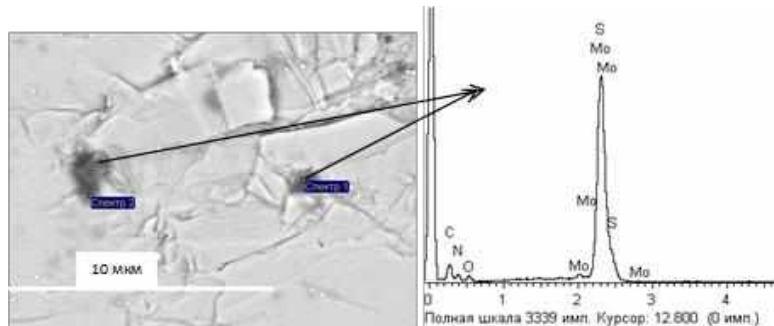


Рисунок 7 - Адсорбция ДТМ на ренийсодержащем молибдените

Таблица 1

Технологические показатели флотации Cu-Mo-Re руды Находкинского рудного поля

Условия	Продукты	Выход, %	Содержание			Извлечение		
			Cu, %	Mo, %	Re, г/т	Cu, %	Mo, %	Re, %
Керосин 10 г/т БКК 10 г/т	концентрат	12,7	3,73	0,0351	0,825	83,1	81,0	80,0
	хвосты	87,3	0,11	0,0012	0,030	16,9	19,0	20,0
	исходная руда	100,0	0,57	0,0055	0,131	100,0	100,0	100,0
ДТМ 10 г/т КР 10 г/т БКК 10 г/т	концентрат	12,6	4,54	0,0375	0,909	97,1	84,4	86,8
	хвосты	87,4	0,02	0,0010	0,020	2,9	15,6	13,2
	исходная руда	100,0	0,59	0,0056	0,132	100,0	100,0	100,0

**Список литературы:**

1. Каркешикина А.Ю. Научное обоснование и апробация реагента дитиопириметана для извлечения золота и рения при флотации комплексных руд. Автореферат дисс. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. 2022. Ссылка на объявление [https://xn--80argmbdf1.xn--p1ai/?page\\_id=843](https://xn--80argmbdf1.xn--p1ai/?page_id=843).
2. Каркешикина А.Ю., Гетман В.В. Исследование возможности образования комплексного соединения рения с реагентом дитиопириметан в условиях флотации ренийсодержащих руд. // Материалы Международной конференции «Плаксинские чтения 2022». Владивосток. С.300-302.
3. Чантурия В.А., Матвеева Т.Н., Гетман В.В., Каркешикина А.Ю., Громова Н.К. Способ флотационного извлечения меди и молибдена. Патент на изобретение RU 2775219, опубл. 28.06.2022. Бюл. №19.

На основе комплекса аналитических, экспериментальных и технологических исследований впервые для условий тяжелосредной сепарации труднообогатимого алмазосодержащего сырья определена оптимальная глубина азотированного слоя на поверхности ферросилициевых гранул, обеспечивающая снижение скорости коррозии ферросилиция в 2,7 раза.

Предложенная технология защищена совместным с АК «АЛРОСА» патентом РФ, принята к промышленной апробации (2023 г.) в условиях обогатительной фабрики № 14 Айхальского ГОКа АК «АЛРОСА» (рисунок 8).



Рисунок 8 – Изменение устойчивости к истиранию (1) и намагниченности (2) образцов азотированного ферросилиция при интенсивном их взаимодействии в течение 7 дней с оборотной водой в исследуемых режимах

*Академик РАН Чантурия В.А., д.т.н. Двойченкова Г.П., к.т.н. Тимофеев А.С., к.т.н. Подкаменный Ю.А.*

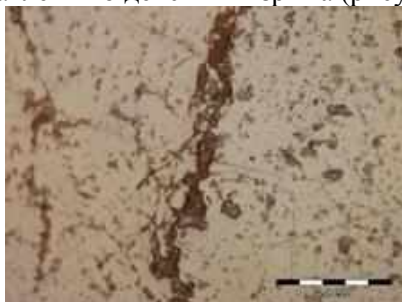
**Список литературы:**

1. *Чантурия В.А., Двойченкова Г.П., Чантурия Е.Л., Тимофеев А.С.* Интенсификация процессов сепарации труднообогатимого алмазосодержащего сырья коренных, россыпных и техногенных месторождений. // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2022. № 5 С.95-108.

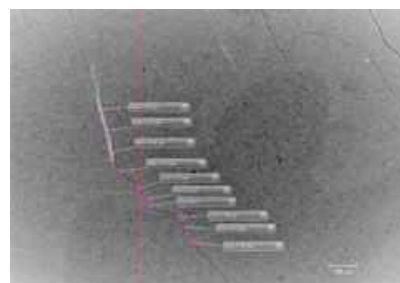
2. *Чантурия В.А., Двойченкова Г.П.* Инновационные процессы сепарации алмазосодержащего сырья природного и техногенного происхождения. // Материалы международной конференции «Плаксинские чтения – 2022» г. Владивосток, С.16-29.

3. Патент РФ № RU2757298. *Чантурия В.А., Двойченкова Г.П., Морозов В.В., Ковальчук О.Е., Тимофеев А.С., Подкаменный Ю.А., Савицкий Л.В., Бабушкина А.Л.* «Способ подготовки гранулированного ферросилиция к тяжелосредной сепарации».

На основании анализа и обобщения теоретических и экспериментальных исследований, выполненных в лабораторных и натуральных условиях с применением методов оптической и электронной микроскопии, рентгеновской компьютерной микротомографии, ультразвукового контроля и прочностных испытаний установлено, что при взрывном воздействии на горные породы наблюдается развитие микротрещин под действием волн напряжений, которое трактуется как процесс взрывного предразрушения (рисунки 9,10, таблица 2). Физическая картина взрывного воздействия характеризуется следующим образом: роль волн напряжений заключается в формировании области микротрещиноватости, а расширение газовой полости как более длительный и медленный процесс определяет итоговые закономерности взрывного разрушения и реализуется в предразрушенной волной среде. Соответственно, при описании взрывного разрушения горных пород необходимо использовать модели, учитывающие совместное действие волн напряжений и газообразных продуктов. Новизна и значимость результатов исследований заключается в разработке положений о процессах деформирования и разрушения горных пород на микро масштабном уровне, в рамках которых получили развитие физические представления о действии взрыва (рисунок 11).



**Рисунок 9 - Вид микротрещины в граните после взрывного воздействия по данным оптической микроскопии**



**Рисунок 10 - Вид микротрещин в объеме образца гранита по данным рентгеновской компьютерной микротомографии**

Таблица 2

**Значения скорости продольных волн (м/с) в граните до и после взрывного воздействия по данным ультразвуковых исследований (расстояние между точками измерений составляет 3 см, взрывной источник в точке №№6)**

№№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
До	6590	6600	6550	6770	6760	<b>6730</b>	6600	6580	6670	6720	6750
После	6370	6480	6400	6390	6270	<b>6180</b>	6220	6360	6450	6570	6540



**Рисунок 11 - Зависимость прочности на растяжение в образце песчаника с расстоянием от источника взрывного воздействия**



Разработаны теоретические основы методики оценки размеров зоны радиальных трещин в породах пласта, окружающих продуктивную скважину, при сгорании жидких горюче-окислительных составов (ЖГОС), размещенных с использованием всего сечения скважины непосредственно в зоне перфорации последней, с учетом химического состава ЖГОС, физико-механических свойств пород пласта, горного давления и интенсивности трещинообразования.

Показано, что применение ЖГОС из несенсибилизованных обратных эмульсий может быть эффективным и экономически обоснованным решением при условии обеспечения надежного зажигания эмульсии и ее устойчивого горения. В нижеприведенной таблице приведены технико-экономические данные распространенных ЖГОС (гель №1, раствор №2) и варианта ЖГОС из несенсибилизованной обратной эмульсии (№3).

Таблица 3

№ п/п	Состав ЖГОС	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Температура горения, К	Относит. радиус радиальных трещин	Стоимость компонентов, руб./кг
1	Аммиачная селитра – 55%; этиленгликоль – 25%; бихромат калия – 2%; поликриламид – 1%; вода – 17%	1270	1667	145	56,5
2	Аммиачная селитра – 55%; глицерин – 10%; вода – 35%	1350	820	161	91,5
3	<b>Аммиачная селитра – 55%; кальциевая селитра – 10%; эмульгатор – 1%; дизтопливо – 7%; вода – 27%</b>	<b>1260</b>	<b>1480</b>	<b>173</b>	<b>27,5</b>

Рассмотрены вопросы, связанные с поведением сенсibiliзирующего агента – газовых микропузырьков (ГМП), касающиеся обеспечения надежной детонации эмульсионных взрывчатых веществ (ЭВВ) в момент производства взрывных работ.

Для повышения надежности взрывных работ с использованием ЭВВ разработана методика расчета времени сохранения скважинным нисходящим зарядом ЭВВ, сенсibiliзированным ГМП, способности к инициированию и детонации.

В основу методики расчета времени сохранения скважинным нисходящим зарядом ЭВВ, сенсibiliзированным ГМП, способности к инициированию и детонации положены аналитические исследования, описывающие деформацию ГМП под действием гидростатического давления колонки заряда и последующее движение ГМП в псевдопластической жидкости. В качестве реологической модели матричной эмульсии ЭВВ принята модель псевдопластического тела, которая нашла экспериментальное подтверждение при изучении реологических свойств эмульсий с окислительной фазой из бинарного раствора аммиачной и кальциевой селитры соответствует реологическим свойствам псевдопластических жидкостей.

Показано, что после формирования скважинного заряда происходит как уменьшение размеров ГМП и снижение общей пористости ЭВВ, обусловленное сжатием этих микропузырьков под действием гидростатического давления, так и медленное дополнительное прогрессирующее уменьшение пористости ЭВВ вследствие всплытия ГМП. Это способствует, по истечении некоторого промежутка времени, потере скважинным зарядом ЭВВ способности к детонационному разложению, что необходимо учитывать при длительном нахождении заряда во взрывной скважине. Получено аналитическое решение, позволяющее оценить время сохранения скважинным нисходящим зарядом ЭВВ, сенсibiliзированных ГМП, способности к инициированию. В решении учитываются неоднородность ГМП по размеру и мощность промежуточного детонатора, используемого для инициирования заряда ЭВВ.

Полученные закономерности позволяют повысить надежность взрывных работ с использованием ЭВВ, сенсibiliзированных ГМП.

Доказано, что механохимическая трансформация бахромы угольного вещества в рамках физико-химической модели генерации метана угольным пластом при внезапном выбросе угля и газа не подтверждается ни лабораторными физико-химическими экспериментами по десорбции

метана, ни натурными результатами последствий внезапных выбросов, произошедших в шахтах без действия метана, а с участием только углекислого газа или азота.

Рисунок 12 иллюстрирует последствия внезапного выброса угля и газа на шахте «Юный коммунар» в 1959 году.

Анализ произошедшего опасного газодинамического явления показал, что при массе угля, выброшенного в выработку и оставшегося в полости, составившей 367,4 т, в выработку выделилось всего 700 м<sup>3</sup>, что дает значение метаноносности угля в пласте всего (2-2,3) м<sup>3</sup>/тэ. Это значение практически на два порядка величины меньше, чем 150 м<sup>3</sup>/т, прогнозируемое гипотезой механохимической трансформации бахромы угольного вещества.

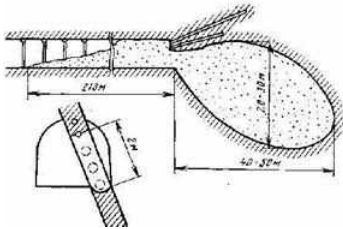


Рисунок 12

**Бобин В.А., Грабский А.А., Грабская.** Особенности и перспективы технологии образования метана при механохимической трансформации бахромы угольного вещества. // Уголь. - 2022. - № 2, С. 10-13. DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-2-10-13>.

Результат по направлению: *«Разработка методических подходов к оценке влияния применяемых техногенных разрушающих воздействий в зоне горных работ на изменение напряженно-деформированного состояния разрабатываемого массива».*

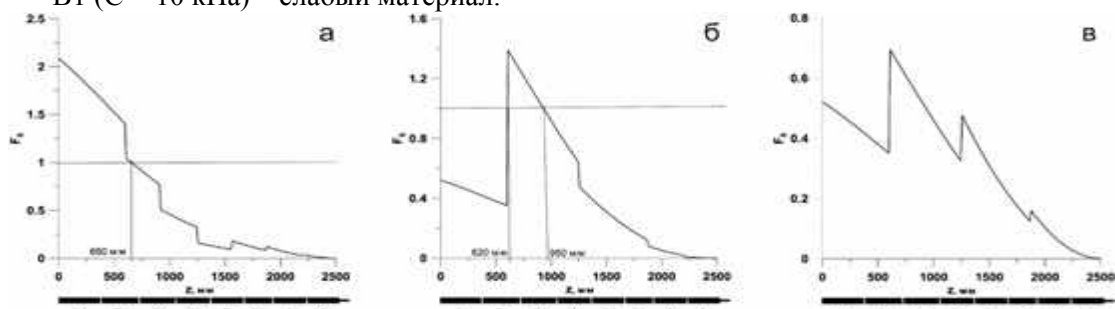
#### Список литературы:

**Трофимов В.А., Филиппов Ю.А., Закорименный И.М., Харитонов И.Л., Блохин Д.И.** Моделирование взаимодействия сталеполлимерных анкеров с массивом горных пород при различных условиях закрепления для оценки их несущей способности. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – № 1. – С. 35-48.

Широко применяемые в России в настоящее время сталеполлимерные анкера типа АСП, А20В, А20 вследствие своих конструктивных особенностей и используемой технологии установки не обеспечивают равномерное заполнение объема шпура полимерным композитом. Указанное обстоятельство приводит к уменьшению эффективной площади контакта анкера с поверхностью закрепляемого массива, т.е. снижению фактической прочности закрепления анкера в шпуре, что не позволяет на практике реализовать проектную несущую способность элемента крепи. В ИПКОН РАН на основе анализа напряженно – деформированного состояния системы «анкерная крепь – породный массив» в режиме статического нагружения предложен алгоритм численного расчета несущей способности анкера в зависимости от неоднородности распределения прочности закрепителя по длине шпура с учетом его возможного разрушения. Для описания механизмов потери устойчивости и количественной оценки коэффициентов запаса устойчивости системы «анкерная крепь – породный массив» используется критерий разрушения Кулона – Мора. Аналитически, критерий может быть выражен в виде неравенства:  $F_s(x, y) < 1$ , где  $F_s = ((S_1/\sigma_t) + (S_2/\sigma_c)) - 1$  – коэффициент запаса устойчивости;  $S_1, S_2$  – главные напряжения;  $\sigma_t$  – предел прочности на растяжение;  $\sigma_c$  – предел прочности на сжатие. Выполнение условия  $F_s(x, y) < 1$  означает, что в точке (x, y) произошло локальное разрушение материала и произошла в той или иной степени деградация его деформационно-прочностных свойств. Если такими точками заполнена целая область массива, то вся она частично или полностью потеряла несущую способность. Получение такого результата создает основу для разработки методики оценки фактической несущей способности элементов анкерной крепи с неоднородным распределением прочности закрепления вдоль их длины. На рисунке, в качестве примера, приведены результаты численных экспериментов по оценке распределения значений коэффициента запаса устойчивости анкера по его длине (2500 мм) для различных (случайных рисунок 13 а, б, в) вариаций местоположения участков с пониженными прочностными характеристиками (С - сцепление). Начало отсчета длины анкера – в глубине массива при  $z=0$ . На рисунках зоны с различным сцеплением обозначены следующим образом:

- В4 (С= 40 кПа) – прочный материал;

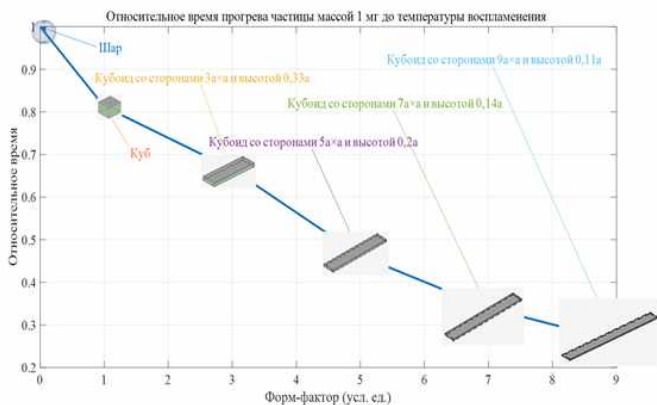
- В3 (C = 30 кПа) – менее прочный;
- В2 (C = 20 кПа) – менее слабый;
- В1 (C = 10 кПа) – слабый материал.



**Рисунок 13 - Распределения значений коэффициента запаса устойчивости анкера  $F_s$  по его длине для различных вариаций местоположения участков с пониженными прочностными характеристиками закрепителя**

В ходе исследований угольной аэрозоли, её формы с помощью электронного микроскопа вывалены характеристические соотношения основных размеров пылевых частиц, заключающиеся в том, что они имеют форму плоских призм не большой высоты по отношению к габаритам основания. Это сильно влияет на промышленную безопасность горных выработок по фактору запыленности рудничной атмосферы. Так, как первичной стадией горения является нагрев частицы. В ходе исследований определена зависимость продолжительности нагрева пылевых частиц на основе уравнения теплового баланса в зависимости от их форм-фактора (шар, куб, параллелепипеды с различным сочетанием габаритов). Из полученного результата следует, что время прогрева частиц, с наблюдаемыми на практике форм-фактором, до температуры возгорания в два раза меньше, чем температура нагрева частиц с сферическим форм-фактором (рисунок 14).

Результат планируется к опубликованию в журнале «Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых».



**Рисунок 14 - Влияние форм-фактора пылевой частицы на время прогрева до температуры возгорания относительно сферических частиц**

## 2.2. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ ДИНАМИКИ ГЕОСФЕР ИМЕНИ АКАДЕМИКА М.А. САДОВСКОГО РАН

В 2022 году научно-исследовательские работы горной направленности велись в ИДГ РАН по следующим темам государственного задания:

- № 122032900172-5 Развитие методов контроля геодинамических процессов разного иерархического уровня, в том числе инициированных техногенной деятельностью (рук. к.ф.-м.н. А.Н. Беседина)
- № 122032900167-1 Разработка прогнозных моделей реакции флюидных систем земной коры на техногенное воздействие (рук. к.ф.-м.н. Н.А. Барышников)
- № 122032900178-7 Возникновение и развитие динамической неустойчивости в зонах крупных континентальных разломов под действием природных и техногенных факторов (рук. к.ф.-м.н. А.А. Остапчук)

При поддержке РФФ и РФФИ, проводились работы по темам:

- Проект РФФ № 22-17-00204 Геомеханика разломов земной коры – от региональных масштабов до микротрещин (рук. д.ф.-м.н. Г.Г. Кочарян)
- Проект РФФ № 22-27-00643 Исследование распространения и заполнения трещин гидроразрыва при помощи ультразвукового просвечивания (рук. д.ф.-м.н. С.Б. Турунтаев)
- Проект РФФ № 20-77-10087 Применение современных методов анализа данных для решения задач геомеханики разломных зон приповерхностной области континентальной коры (рук. проекта к.ф.-м.н. А.А. Остапчук)
- Проект РФФИ №19-05-50050 «Пылегазовое загрязнение среды обитания и связанные с ним вариации геофизических полей» (рук. академик В.В. Адушкин)
- Проект РФФИ № 20-35-90074 Деформирование разломов с гетерогенной структурой интерфейса (рук. к.ф.-м.н. А. А. Остапчук)
- Проект РФФИ № 20-35-90016 Динамическое деформирование флюидонасыщенных коллекторов при сейсмическом воздействии (рук. проекта к.ф.-м.н. Э.М. Горбунова)

Кроме того, проводились работы в рамках хозяйственных договоров с различными предприятиями горнодобывающей отрасли.

Ниже кратко изложены некоторые результаты исследований, полученные при выполнении работ по темам Государственного задания ИДГ РАН № 122032900172-5 и № 122032900178-7.

### Аннотация

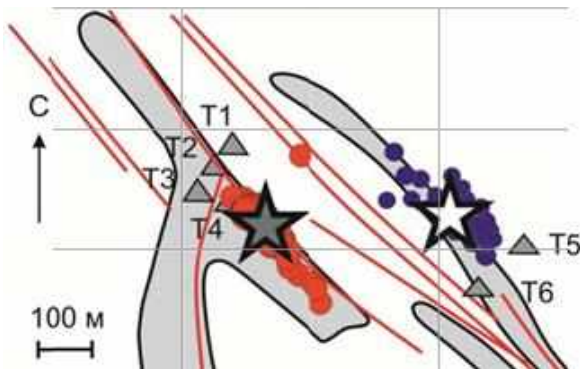
Выполнен анализ параметров сейсмических событий, индуцированных взрывами, проводимыми при разработке прочных кварцитов Коробковского железорудного месторождения Курской магнитной аномалии (КМА) в тектонически стабильном районе Восточно-Европейской платформы. Определены основные характеристики слабых сейсмических сигналов, которые были инициированы взрывными работами. На основе оценки величины приведенной сейсмической энергии ( $e=Es/M0$ ) и, соответственно, скорости распространения разрыва можно судить о вероятности реализации накопленной в массиве упругой энергии в виде динамических событий. Оценка влияния характеристик вмещающего массива и заполнителя трещин на масштабные соотношения и скорость распространения разрыва использовалась при изучении состояния участка разломной зоны с точки зрения его сейсмогенности. Проведена классификации сейсмических событий с помощью нового метода классификации акустических и микросейсмических импульсов КЛАСИ-к, основанном на анализе параметров волновой формы и очаговых параметров. Применение метода позволило выделить в каталогах два подмножества. Первое подмножество характеризуется величиной приведенной сейсмической энергии более  $10^{-7}$  Дж/(Н·м), второе – менее  $10^{-7}$  Дж/(Н·м). При этом события первого типа характеризуются меньшей длительностью в очаге, чем события второго типа при одном и том же реализованном сейсмическом моменте.

#### ***1. Оценка параметров слабых сейсмических событий при ведении горных работ***

Для проведения сейсмического мониторинга в шахте им. Губкина «Комбината КМА–руда» была размещена временная сейсмическая группа на глубине 300 м, состоящая из 4–6 измерительных точек Т1–Т6 (конфигурация менялась в зависимости от места проведения взрыва), которые были оборудованы акселерометрами Brüel&Kjaer 8306 с рабочим диапазоном частот от 0,08 Гц до 1 кГц. Акселерометры располагались на вертикальных стенках выработки: однокомпонентные датчики в измерительных точках Т1–Т4, Т6 – перпендикулярно стенке выработки. Измерительная точка Т5 была дополнена до трехкомпонентной. Регистрация велась на 14-разрядное АЦП E14-440 L-Card с частотой дискретизации 10 кГц, чувствительность измерительного канала составляла  $7,8$  (мкм/с<sup>2</sup>)/отсчет. На отдельный канал велась запись временной метки для контроля частоты опроса АЦП. Измерения осуществлялись в течение 10-16 ч в период прекращения горных работ, которые останавливаются примерно за 2 ч до проведения взрыва и возобновляются через сутки. В работе проводился анализ сейсмических событий, индуцированных взрывом, сам массовый взрыв не является предметом исследования.



Для анализа использовались данные, зарегистрированные при проведении двух массовых взрывов 06.07.2019 г. (1) и 24.10.2020 г. (2). При взрыве 1 сейсмическая группа включала датчики T1–T4, при взрыве 2 – T1–T2 и T5–T6. Детальный анализ сейсмических событий при взрыве 1 описан в [Беседина и др., 2021]. Расположение датчиков, взрывная камера и очаги зарегистрированных событий показаны на рисунке 1. Локация сейсмических событий, индуцированных взрывом, проводилась по вступлениям Р-волн, а также с помощью поляризационного анализа при наличии трехкомпонентной измерительной точки. Очаги практически всех зарегистрированных событий находятся внутри области с уровнем динамических деформаций от взрывов  $\varepsilon > 10^{-6}$ . Стоит отметить, что при взрыве 1 слабые сейсмические события были зарегистрированы в непосредственной близости от разломной зоны в отличие от взрыва 2, когда сейсмические события были зарегистрированы на значительном удалении от разлома.



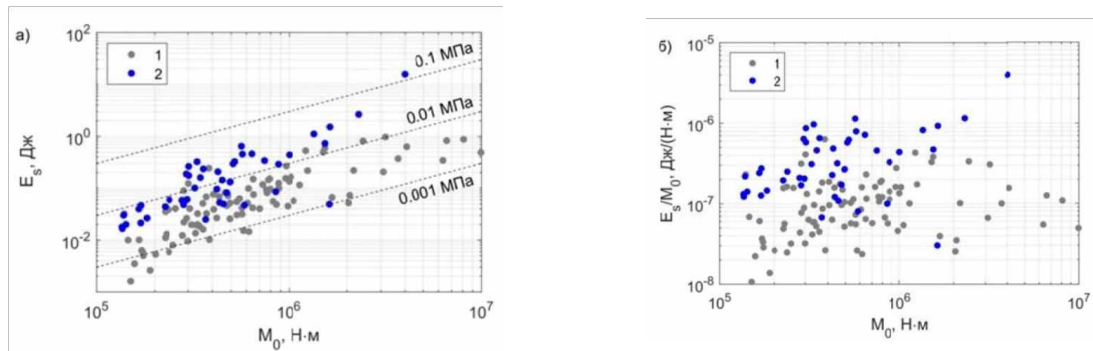
**Рисунок 1 – Исследуемый участок Коробковского железорудного месторождения**

*Сплошными красными линиями отмечены зоны тектонических нарушений. Серым цветом выделены рудные поля. Треугольниками T1–T6 обозначены точки установки акселерометров. Серой звездой отмечена область взрыва, произведенного 06.07.2019 г. (взрыв 1), белой – 24.10.2020 г. (взрыв 2). Красные значки соответствуют сейсмическим событиям, зарегистрированным после взрыва 1, синие значки – после взрыва 2*

Угловая частота  $f_0$  определялась по модели Брюна [Brune, 1970], которая описывает характеристики сигнала, излучаемого при внезапном высвобождении сдвигового напряжения на круговой поверхности в упругом изотропном пространстве. Скалярный сейсмический момент  $M_0$  рассчитывался, но низкочастотной части спектра смещения. Излученная сейсмическая энергия  $E_s$  оценивалась с помощью интегрирования спектра скорости. Для оценки величины сброса напряжения в массиве использовалось соотношение для модели кругового разлома R. Madariaga [Madariaga, 1976]. Эти параметры использовались для расчета сброса напряжения на разломе  $\Delta\sigma$ , кажущегося напряжения  $\sigma_a$ , и далее – излучательной эффективности  $\eta_R = \frac{E_s}{E_s + E_G} = 2 \frac{\sigma_a}{\Delta\sigma}$  [Husseini, 1977], где  $E_G$  – величина энергии, идущей на разрушение контакта (трещинообразование), а  $E_s$  – излученная сейсмическая энергия. Для первой сдвиговой моды  $\eta_R = 1 \frac{1 - V_r/C_R}{\sqrt{1 - V_r/C_s}}$ , для трещин отрыва -  $\eta_R = \frac{V_r}{C_R}$  [Venkataraman, Kanamori, 2004].

Проведенный анализ показал, что были зарегистрированы сейсмические события с моментными магнитудами  $M_w$  от -2,4 до -1,7 с угловой частотой от 120 до 760 Гц.

Полученные значения магнитуд и угловых частот соответствуют, согласно модели [Madariaga, 1976], радиусам очага в первые метры. Величина сброса напряжения варьируется от 0,002 до 1 МПа. Величина рассчитанной сейсмической энергии варьируется от  $10^{-3}$  до 15 Дж при изменении сейсмического момента примерно на два порядка от 105 до 107 Н·м, что соответствует вариациям кажущегося напряжения от 0,0003 до 0,1 МПа (рисунок 2). Очевидно, что при сопоставимых значениях сейсмического момента зарегистрированных событий, значения сейсмической энергии событий после взрыва 2 в основном превышают значения энергии событий после взрыва 1, что также находит отражение и в величине приведенной сейсмической энергии  $e = E_s/M_0$ . Медианные значения скорости распространения разрыв, отнесенной к скорости распространения поперечных волн  $V_r/C_s = 0,19 - 0,31$  для взрыва 1 и  $V_r/C_s = 0,22 - 0,36$  для взрыва 2.



**Рисунок 2 – Сейсмическая энергия, излученная индуцированными событиями разного размера в зависимости от величины сейсмического момента**  
**а) излученная сейсмическая энергия; б) приведенная сейсмическая энергия  $E_s/M_0$**   
**Уровни постоянного кажущегося напряжения  $\sigma$  показаны пунктирными линиями.**  
**Значки разного цвета соответствуют взрывам 1 и 2**

Результаты, полученные на Коробковском месторождении, дополняют мировую базу данных шахтной сейсмичности, демонстрируя при этом выраженные особенности. Так, средняя величина приведенной сейсмической энергии для большинства зарегистрированных событий заметно ниже, чем при регистрации микросейсмических событий на многих горнодобывающих предприятиях. Значения скоростей распространения разрыва для индуцированных микрособытий на шахте «КМА–руда» намного ниже величин, характерных для динамических подвижек  $V_r \sim 0,8C_s$ , что позволяет идентифицировать их как рой сейсмических событий с низкой излучательной эффективностью или «медленных» микроземлетрясений. Заметим, что для событий, приуроченных к зоне разлома, отмечены более низкие медианные значения скорости распространения разрыва по сравнению с событиями, очаги которых расположены на удалении от разлома, что свидетельствует о влиянии структурных и механических свойств локального участка массива на параметры индуцированной сейсмичности.

Таким образом, можно заключить, что анализ очаговых параметров слабой сейсмичности может дать важную дополнительную информацию о склонности участка к динамическим подвижкам по разломам и крупным тектоническим трещинам.

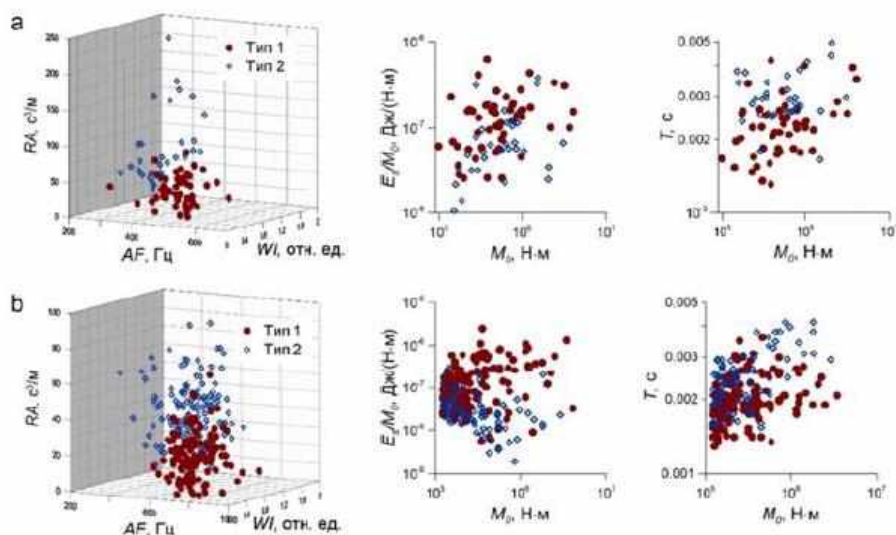
## **2. Классификация сейсмических событий с помощью метода КЛАСИ-к**

На первом этапе, согласно методу КЛАСИ-к [Морозова и др., 2022], проводилась кластеризация импульсов по параметрам, описывающим волновую форму {RA, AF, WI} (скорость нарастания амплитуды – RA, средняя частота – AF, волновой индекс – WI). Взаимная корреляция между параметрами не превышала 0.5. Результаты применения метода КЛАСИ-к к данным микросейсмического мониторинга, описанным в предыдущем разделе, представлены на рисунке 3.

При выделении подмножеств сейсмических событий основное внимание уделялось отличию именно скейлинговых соотношений. Рассматриваются вариации величины приведенной сейсмической энергии (отношение  $E_s/M_0$ ) и длительности T зарегистрированных сейсмических событий при изменении сейсмического момента  $M_0$ .

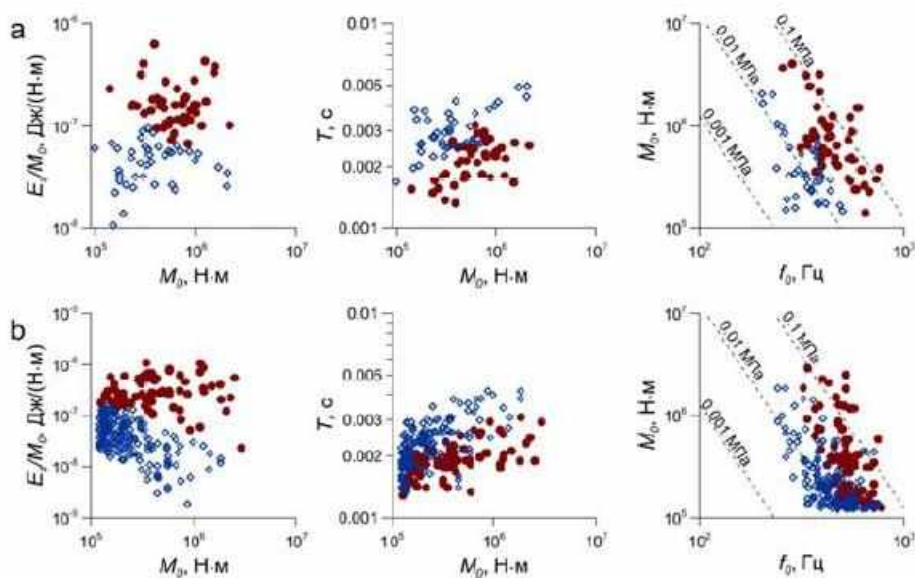
Для взрыва 2, для 1-ой группы событий среднее значение  $E_{ss}/M_0$  составляет  $2,3 \times 10^{-7}$  Дж/(Н·м), в то время как для 2ой значение  $E_s/M_0$  существенно ниже и составляет  $4,8 \times 10^{-8}$  Дж/(Н·м). Также можно видеть, что события первого типа характеризуются, как правило, большей длительностью, чем события второй с таким же сейсмическим моментов.

На втором этапе проводилась классификация сейсмических событий на основе очаговых параметров. Проведение стандартного сейсмического мониторинга предполагает определение очаговых параметров сейсмических событий:  $M_0$ ,  $f_0$  и  $E_s$ . В этой связи в качестве альтернативных целевых параметров КЛАСИ-к метода были использованы  $E_s$ ,  $M_0$ ,  $f_0$ ,  $E_s/M_0$ . Согласно Аки [Аки, 1967], для сейсмических событий при динамическом срыве угловая частота источника связана с длительностью T излученного импульса в очаге  $T \sim 1/f_0$ . Несмотря на то, что не все выбранные параметры являются независимыми, использовать их в качестве целевых при кластеризации можно при условии низкой корреляции между ними. Для рассматриваемых данных взаимная корреляция очаговых параметров не превышает 0,6. На рисунок 4 показаны результаты применения метода КЛАСИ-к с использованием очаговых параметров в качестве целевых параметров метода.



**Рисунок 3 – Классификация импульсов микросейсмических событий с использованием метода КЛАСИ-к по параметрам {AF, RA, WI} а – взрыв 06.07.2019 г., б – 24.10.2020 г. Слева – представлено выделение двух типов в пространстве {AF, RA, WI}. Справа – зависимость приведенной сейсмической энергии  $E_s/M_0$  и длительности импульсов  $T$  от скалярного сейсмического момента  $M_0$ . Красным обозначены события, отнесенные к типу 1, синим – к типу 2**

Проведенный анализ позволил выделить два типа сейсмических событий, для которых наблюдаются различие величины приведенной сейсмической энергии  $E_s/M_0$ . Если для событий типа 1 характерная величина приведенной энергии  $E_s/M_0 > 10^{-7}$  Дж/(Н·м) и для событий типа 2 –  $E_s/M_0 < 10^{-7}$  Дж/(Н·м). Существенно отличается и характерное время в очаге  $T$ . Можно видеть, что события первого типа характеризуются существенно меньшей длительностью при одинаковом реализованном сейсмическом моменте. При этом для выделенных типов зависимость времени в очаге от сейсмического момента близка к закону самоподобия, то есть  $T \sim M_0^{1/3}$ .



**Рисунок 4 – Классификация импульсов микросейсмических событий с использованием метода КЛАСИ-к по параметрам {Es, M0, f0, Es/M0}: а – взрыв 1, б – взрыв 2. Представлены зависимости приведенной сейсмической энергии  $E_s/M_0$  и длительностью  $T$  от скалярного сейсмического момента  $M_0$ . Пунктиром показаны линии постоянного сброса напряжения**

Выявление особенностей ансамбля сейсмических импульсов, излучаемых в локальной области массива горных пород, позволяет лучше понять динамику процессов эволюции, протекающих в массиве горных пород. Применение метода КЛАСИ-к позволило экспериментально показать на данных шахтной сейсмичности, что события с более высоким значением приве-

денной сейсмической энергии характеризуются меньшими временами в очаге при одинаковой величине сейсмического момента. Выделение «тонкой структуры» ансамбля излучаемых сейсмических событий является принципиальным при анализе напряженного состояния локальной области массива горных пород.

#### Список литературы:

1. **Беседина А.Н., Кушкина С.Б., Кочарян Г.Г.** Параметры источников роя микросейсмических событий, инициированных взрывом на Коробковском железорудном месторождении // Физика Земли. – 2021. – № 3. – С. 63-81. DOI: 10.31857/S0002333721030030.
2. **Brune J.** Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquakes // J. Geophys. Res. – 1970. – V. 75. – N. 26. – P. 4997–5009.
3. **Madariaga R.** Dynamics of an expanding circular fault // BSSA. – 1976. – V. 66. – P. 639–666.
4. **Husseini M.** Energy balance for motion along a fault // Geophys. J. Int. – 1977. – V. 49. – N. 3. – P. 699–714, DOI: 10.1111/j.1365-246X.1977.tb01313.x.
5. **Venkataraman A., Kanamori H.** Observational constraints on the fracture energy of subduction zone earthquakes // J. Geophys. Res. – 2004. – V. 109. – P. B05302, DOI: 10.1029/2003JB002549.
6. **Морозова К.Г., Остапчук А.А., Беседина А.Н., Павлов Д.В.** Классификация сейсмических событий, сопровождающих взрывной способ разработки массива горных пород // Сейсмические приборы. – 2022. – Т. 58. – № 4. – С.97–110. <https://doi.org/10.21455/si2022.4-6>.
7. Aki K. Scaling law of seismic spectrum // J. Geophys. Res. – 1967. – V. 72. – N. 4. – P. 1217–1231. <https://doi.org/10.1029/JZ072i004p01217>.

#### Список некоторых публикаций ИДГ РАН 2022 года в рамках научно-исследовательских работ горной направленности

1. **Besedina A.N., Pavlov D.V., Sharafiev Z.Z.** Triggering Landslides with Seismic Vibrations // Springer Geology. – 2022. – P. 327-334. DOI: 10.1007/978-3-030-76328-2\_34.
2. **Krasheninnikov A.V., Loktev D.N., Soloviev S.P., Spivak A.A.** Compact Laser Devices for Measuring Airborne Microparticle Concentrations and Their Application at the Geophysical Monitoring Center of the Sadovsky Institute of Dynamics of Geospheres, Russian Academy of Sciences // Seismic Instruments. – 2022. – V. 58. – N. 3. – P. 235-243. DOI: 10.3103/S0747923922030082
3. **Ostapchuk A., Polyatykin V., Popov M., Kocharyan G.** Seismogenic Patches in a Tectonic Fault Interface // Frontiers in Earth Science. – 2022. – V. 10. DOI:10.3389/feart.2022.904814.
4. **Рыбнов Ю.С., Крашенинников А.В., Соловьев С.П., Рыбнов С.Ю.** Мониторинг пылегазовых облаков при проведении массовых взрывов на Лебединском карьере // Рациональное освоение недр. – 2022. – Т. 63. – № 1. – С. 58-61 DOI: 10.26121/RON.2022.62.67.009.
5. **Morozova K.G., Ostapchuk A.A.** Relationship Between the State of a Shear Crack in a Granulated Material and Acoustic Emission and Deformation Data // Acoust. Phys. – 2022. – V. 68. – P. 496–501. <https://doi.org/10.1134/S1063771022050086>.
6. **Санина И.А., Константиновская Н.Л.** Особенности идентификации карьерных взрывов в центральной части Восточно-европейской платформы по данным малоапертурной группы «Вихнево» // Российский сейсмологический журнал. – 2022. – Т. 4. – № 2. – С. 23–32.
7. **Kocharyan G.G., Budkov A.M., Kishkina S.B.** Effect of Slip Zone Structure on Earthquake Rupture Velocity // Phys. Mesomech. – 2022. – V. 25. P. 549–556. <https://doi.org/10.1134/S1029959922060078>.
8. **Kocharyan G.G., Sharafiev Z.Z., Kishkina S.B., Qi Chengzhi** Phenomenon of Reduction in Friction at the Toe of Gravity Landslide under Seismic Vibration Effect // Journal of Mining Science. – 2022. – V. 58. – N. 2. – P. 173-183. (DOI: 10.1134/S1062739122020016).
9. **Куликов В.И., Шарафиев З.З.** сейсмическое действие массовых взрывов при подземной разработке Коробковского железорудного месторождения на застройку и население г. Губкин // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2022. – Т. 49. – № 4. – С. 79– 90. <https://doi.org/10.21455/VIS2022.4-5>.
10. **Khazins V.M., Solov'ev S.P., Loktev D.N., Krasheninnikov A.V., Shuvalov V.V.** Nearsurface Air Layer Pollution with Micronic Dust Particles // Journal of Mining Science. – 2022. – V. 58. – N. 4. – P. 676–689. DOI: 10.1134/S1062739122040160.

11. *Baryshnikov N.A., Zenchenko E.V., Turuntayev S.B.* Dependence of effective permeability on pore pressure gradient at low flow rates in low-permeability limestone // Interpretation. – 2022. – V. 11. – N. 1. –P. T1. DOI:10.1190/INT-2021-0110.1.

12. *Kocharyan G., Qi C., Kishkina S., Kulikov V.* Potential triggers for large earthquakes in open pit mines: a case study from Kuzbass // Siberia. Deep Underground Sci and Eng. – 2022. P. 1-14. DOI: 10/1002/dug2.12028.

13. *Морозова К.Г., Остапчук А.А., Беседина А.Н., Павлов Д.В.* Классификация сейсмических событий, сопровождающих взрывной способ разработки массива горных пород // Сейсмические приборы. – 2022. –Т. 58. – № 4. – С.97–110. <https://doi.org/10.21455/si2022.4-6>.

14. *Krasheninnikov A.V., Rybnov Y.S., Soloviev S.P., Rybnov S.Y.* Microparticles variations concentration during the mass explosions at the Lebedinsky quarry" // Proc. SPIE 12341, 28th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics, 123415J (7 December 2022); <https://doi.org/10.1117/12.2644398>.

15. *Krasheninnikov A.V., Loktev D.N., Soloviev S.P.* Numerical theoretical modeling of the aerosol atmospheric pollution and electric field strength relationship basing on the GMC IDG RAS data // Proc. SPIE 12341, 28th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics, 123416W (7 December 2022). <https://doi.org/10.1117/12.2645139>.

16. *Adushkin V.V., Lovchikov A.V., Goev A.G.* The Occurrence of a Catastrophic Rockburst at the Umbozero Mine in the Lovozero Massif, Central Part of the Kola Peninsula // Dokl. Earth Sc. – 2022. – V. 504. – P. 305–309. <https://doi.org/10.1134/S1028334X22050038>.

17. *Шарафиев З.З., Куликов В.И.* Сейсмозрывное воздействие подземных горных работ на населенную над шахтную застройку города Губкин // Взрывное дело. – 2022. – № 134-91. – С. 120-136.

18. *Рига В.Ю., Турунтаев С.Б.* Сейсмичность при разработке месторождений углеводородов // Деловой журнал Neftgaz.RU. – 2022. – № 9. – Т. 129. – С. 32-39.

19. *Кишкина С.Б., Бугаев Е.Г., Лободенко И.Ю.* Техногенные землетрясения при анализе безопасности площадок АЭС // Ядерная и радиационная безопасность. – 2022. – № 4(106).

20. *Горбунова Э.М., Беседина А.Н., Кабыченко Н.В., Батухтин И.В., Петухова С.М.* Постсейсмические эффекты массовых взрывов, выделенные при разработке железорудных месторождений КМА // Динамические процессы в геосферах. – 2022. – № 14(1). – С. 51-68. [https://doi.org/10.26006/22228535\\_2022\\_14\\_1](https://doi.org/10.26006/22228535_2022_14_1).

### **2.3. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ХАБАРОВСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО ОТДЕЛЕНИЯ РАН**

В 2022 году научно-исследовательские работы в Институте горного дела ДВО РАН велись по следующим направлениям программы фундаментальных научных исследований:

– **1.5.7.2.** Комплексная, технологически эффективная и экологически безопасная добыча, обогащение и глубокая переработка минерального сырья

– **1.5.7.3.** Развитие методов мониторинга развития опасных техногенных процессов; обеспечение безопасного ведения горных работ

### **ГОРНОЕ НЕДРОВЕДЕНИЕ**

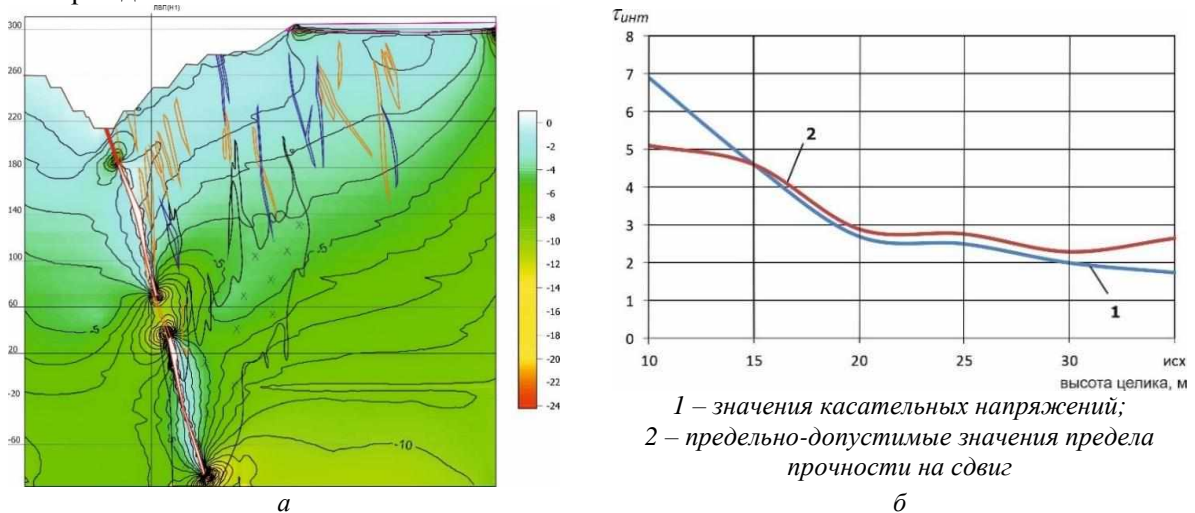
**Геомеханика.** По результатам численного моделирования напряженно-деформированного состояния и сейсмоакустического контроля массива горных пород Николаевского полиметаллического месторождения выявлены особенности геомеханических процессов и закономерности формирования очагов опасных геодинамических явлений на участках со сложной тектонической структурой, нарушенной горными работами. Установлено, что определяющую роль в формировании удароопасности на Николаевском руднике играет сложно-построенная крутопадающая тектоническая зона ТН-3. Высокие концентрации сжимающих напряжений (более 150 Мпа) и растягивающих до 30 МПа и выше наблюдаются в бортах и кровле выработок, расположенных в зоне опорного давления отработанных блоков, а также на



пересечении под углом менее 15-20° к разлому ТН-3. Для повышения безопасности горных работ был обоснован комплекс мероприятий по предотвращению горных ударов и снижению геодинамического риска.

Численным моделированием напряженно-деформированного состояния горного массива установлено, что последовательная отработка подкарьерных запасов приводит к росту напряжений в охранном целике, где уровень максимальных напряжений наблюдается при мощности целика 10 м, и превышает исходный уровень напряжений более чем в 2,3 раза при полной отработке запасов (рисунок 1б). В краевых участках массива между очистными камерами отработанных рудных тел в отм. +30...+70 м и ниже отм. -90 м значения сжимающих напряжений  $\sigma_1$  и интенсивности касательных  $\tau_{\text{инт}}$  составляют соответственно 27 и 11 МПа (рисунок 1а). Для условий золоторудного месторождения Пионер, расположенного в тектонической структуре, характеризуемой сочетанием разломов ортогональной и диагональной систем в условиях действия гравитационно-тектонического поля напряжений при переходе с открытого на подземный способ отработки потенциальную удароопасность представляют межэтажные, охранные целики, а также краевые части массива между формируемыми очистными камерами.

Разработано масштабное обновление 3D моделей месторождений «Николаевское» (Приморский край) и «Кукисвумчорское» (Мурманская область). В процессе геомеханического мониторинга с использованием автоматизированной системы контроля горного давления 3D модель позволит более надежно выявлять и интерпретировать ранее неизвестные или слабо изученные геологические структуры горного массива, производить более точный анализ природы возникновения сейсмоакустических событий, заблаговременно оценивать и прогнозировать геомеханическое состояние геосреды, выделять потенциально удароопасные участки, спроектировать обновление и дальнейшее развитие конфигурацию сети геофонов на данном месторождении.



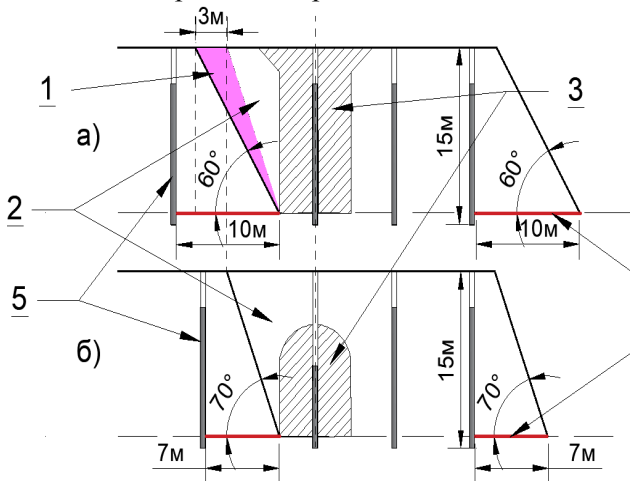
**Рисунок 1 - Распределение максимальных горизонтальных напряжений  $\sigma_1$  в массиве рудной зоны Николаевской месторождения Пионер после полной отработки рудных тел при высоте целика 30 м в проекции на профиль 514 (а) и изменение касательного и предельно-допустимого сдвигово-го напряжения в наиболее напряженной точке рудного целика по мере уменьшения его высоты (б)**

**Геотехнология.** При проведении экспериментальных взрывов на угольном месторождении установлено, что для оконтуривающих скважин блока (крайних рядов) длину свободной от заряда верхней части скважины изначально целесообразно принимать равной половине длины скважины, что за счет эффекта уменьшения зоны дробления в верхней части уступа по мере уменьшения коэффициента заполнения скважины ВВ и уменьшения длины возможной призмы обрушения позволит увеличить угол откоса уступа следующего взрывного блока (рисунок 2). Уменьшенный заряд контурных скважин из-за его большего удаления от открытой поверхности относительно стандартного заряда, кроме снижения уровня сейсмического действия, также способствует уменьшению разлета отдельных кусков породы.

В результате изучения условий формирования на территории Дальневосточного региона техногенных россыпных месторождений золота установлено, что увеличение количества тяжелых минералов в песках (от 10 до 30%) определяет повышение потерь золота более, чем в

2 раза. Показано, что наибольшие потери металла наблюдаются при одинаковой (равнозначной) размерности сопутствующих ценных компонентов и золота в исходных песках. Установлено, что накопление в техногенных образованиях ценных компонентов, происходящее при отработке таких россыпей, существенно повышает интерес к объекту.

В результате измерений скоростей детонации скважинных зарядов с промежуточным детонатором (ПД) Аммонит 6ЖВ-32 различной массы, проведенных на месторождении андезито-базальтов, для неглубоких (до 6 м) скважин установлены рациональные параметры БВР: применение сплошного заряда вместо рассредоточенного; применение одного боевика, вместо двух; расположение боевика по центру скважинного заряда; увеличение массы промежуточного детонатора (например, вместо двух ПД по 1 кг, принимается один ПД, равный 2 кг). Применение установленных рациональных параметров позволит повысить качество и снизить себестоимость взорванной горной массы.

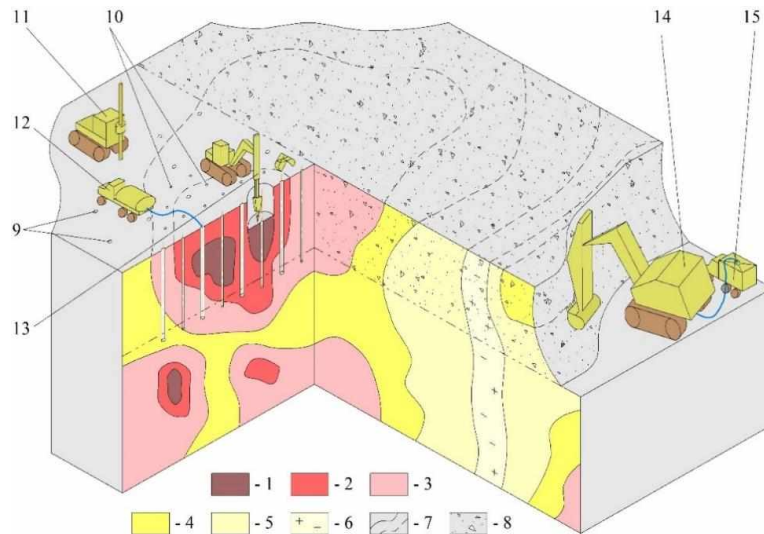


**Рисунок 2 - Схемы взрывания**  
*а – традиционная, б – рациональная,*  
**1 – возможная призма обрушения;**  
**2 – законтурный массив;**  
**3 – регулируемая зона дробления;**  
**4 – линия сопротивления по подошве;**  
**5 – скважины последующего взрывного блока**

На основе результатов, полученных в ходе экспериментов по разупрочнению скальных горных пород средней трудности разрушения раствором поверхностно-активных веществ (ПАВ), разработана технология комбинированной отработки сложно структурного рудного тела штокверкового типа, который предусматривает: детальную разведку участков, представленных богатыми рудами путем сгущения сети скважин и последующую пропитку массива через уплотненную сеть скважин раствором ПАВ; механическое рыхление и опережающую выемку разупрочненных богатых руд с применением экскаватора со сменным оборудованием в виде гидромолота и гидрогрейфера; взрывное рыхление оставшейся части сложно структурного блока под пригрузкой рудной массой ранее взорванного блока; выемку руд ранее взорванного блока в режиме селекции или усреднения (рисунок 3).

В результате проведенных лабораторных экспериментальных исследований по изучению влияния циклического затопления-осушения (З-О) горной массы техногенных комплексов россыпных месторождений на параметры миграции частиц золота впервые для частного случая установлена регрессионная зависимость интенсивности изменения содержания золота по глубине  $I_m$  от медианного размера частиц вмещающей горной массы  $d_{50}$  ( $k_{кор}=0,97$ ):  $I_m = 0,54 \cdot d_{50} - 0,07$ , которая позволит на стадии проектирования определить пригодность техногенного месторождения к применению технологии формирования обогащенной зоны по фактору «гранулометрический состав», а также оценить время, необходимое для формирования обогащенной зоны.

В результате исследования экономической целесообразности применения геотехнологии освоения техногенных россыпных месторождений, основанной на внутриотвальной концентрации ценных компонентов, обеспечивающей формирование в приплотиковой части обогащенной зоны, установлено, что применение разрабатываемой технологии предполагает более рациональный организационно-технологический подход и позволяет вовлекать в отработку месторождения, эксплуатация которых ранее считалась нерентабельной. Предлагаемая организация добычи обеспечивает экономию финансовых, материальных и трудовых ресурсов, а также экономию времени работы технологического оборудования.



**Рисунок 3 - Схема комбинированной отработки сложноструктурного рудного тела штокверкового типа**

*1 – особо богатая руда; 2 – богатая руда; 3 – рядовая руда; 4 – бедная руда; 5 – особо бедная руда; 6 – пустые породы; 7 – контуры сортов руд; 8 – взорванные руда и порода; 9 – взрывные скважины; 10 – скважины детальной разведки; 11 – буровая установка; 12 – автоцистерна с раствором ПАВ; 13 – экскаватор со сменным оборудованием; 14 – карьерный экскаватор; 15 – самоходный бункер для сбора обогащенной рудной мелочи*

**Геоинформатика.** Разработаны базовые принципы и условия методического подхода к исследованию пространственной и отраслевой организации недропользования в Дальневосточном регионе с целью дальнейшего развития научных основ комплексного освоения минерально-сырьевых объектов путем внедрения современных инновационных технологий. Показано, что требуется новая концепция использования минерально-сырьевой базы ДФО и планирование ее воспроизводства с расчетом создания соответствующей отрасли или участия в конкретном сегменте национальной экономики. Создание перерабатывающих отраслей в ДФО может сгладить диспропорции в национальной экономике, основанной на минерально-сырьевых ресурсах, в географическом размещении разрабатываемых месторождений, перерабатывающих предприятий и поставщиков конечной продукции. Результаты служат основой для создания максимально полного цикла инновационного подхода с использованием предшествующих научных исследований и подготовленного компетентного обеспечения работ информационными ресурсами и могут обеспечить основу для создания комплекса мероприятий в недропользовании региона.

В рамках исследования «Проектное наполнение зон инфраструктурных каркасов Хабаровского края» предложен вариант наполнения инфраструктурно-энергетического каркаса проектами по природопользованию и, в первую очередь, недропользованию. На примере Нижнего Приамурья рассмотрен вариант развития горнодобывающей и перерабатывающей промышленности. Рассчитана и предложена новая более устойчивая структура экономики региона, базирующаяся на горном комплексе (35%), нефтепромыслах (20%) и строительстве (27%). Основу развития горного комплекса составляют не только вновь разведанные запасы в сумме 690 т золота, но и в целом высокий потенциал ресурсов драгоценных и цветных металлов. К 2030 году прогнозируется добыча 30-40 т золота, 300-325 тыс. т меди, а также алюминий, полиметаллы, вольфрам и редкие металлы. Рост объема производства приведет к созданию 8-10 тысяч новых рабочих мест, увеличению инвестиций, росту доходов.

В аспекте повышения эффективности функционирования и развития горнопромышленного комплекса Дальнего Востока РФ и в целях экономической целесообразности добычи металлических полезных ископаемых и пространственного расположения обрабатывающих металлургических производств, сформирована принципиальная процедура определения конкурентоспособности объектов (путей сообщения, терминальных сооружений и устройств, подвижного состава) различных видов транспорта (процедура выбора вида транспорта) при формировании и осуществлении деятельности интегрированных логистических систем горной промышленности.



**Геоэкология.** На основании анализа данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ): матрицы высот рельефа SRTM03 и спутниковых снимков серии Landsat 8, обоснована методика оценки пылевого загрязнения атмосферного воздуха в зоне воздействия угледобычи на основе дешифрирования спутниковых снимков и подбора оптимальных данных. Установлено, что наиболее подходящими для анализа площадного воздействия являются снимки зимнего (снежного) сезона. По набору снимков разных сезонов выработаны приемы выявления пространственно-временной динамики запыленности и состояния растительности техногенной зоны, закономерностей распространения угольной пыли относительно техногенных источников и объектов жилой инфраструктуры, выявления критериев восстановления биоты нарушенных территорий при сохранении пылевого воздействия. Основным инструментом - ГИС-приложение QGIS. На рисунке 4 выделена площадь Бикинского бурогоугольного бассейна с выделением территории распространения угольной пыли.

На основании анализа цветных синтезированных изображений по комбинациям разных спектральных участков многозональных спутниковых снимков серии Landsat 8 определены оптимальные диапазоны для выявления источников химического заражения местности при эксплуатации как коренных, так и россыпных месторождений твердых полезных ископаемых. Такими комбинациями являются: 456 и 654. Первая работоспособна на большинстве объектов и позволяет уверенно отличить область загрязнения от обнаженных участков местности и техногенных пустошей, вторая информативна на полиметаллических месторождениях. Полученные данные вносятся в разработанную в Институте горного дела ДВО РАН картографическую базу данных (БД) FE-MI GIS.

**Горная теплофизика.** Разработана программа SWIP-L для расчета трубопроводов пароводяной смеси на геотермальных месторождениях, которая реализует математическую модель SWIP и позволяет рассчитывать длинные трубопроводы пароводяной смеси. Программа предполагает разбиение трубопровода на участки с характерной геометрией. В качестве исходных данных вводится энтальпия и расход смеси, начальное давление (на входе в трубопровод), диаметр трубопровода, а также на каждом участке: разность высот начальной и конечной точки, длина, суммарный коэффициент местных сопротивлений. Реализация модели осуществляется численным интегрированием уравнения движения с шагом по длине 0,1 м. В результате расчета получаем: паросодержание и рекомендуемый диаметр трубопровода в начальной точке, перепад давления и критерий устойчивости потока на каждом участке, суммарный (по всему трубопроводу) перепад давления и критерий устойчивости потока.

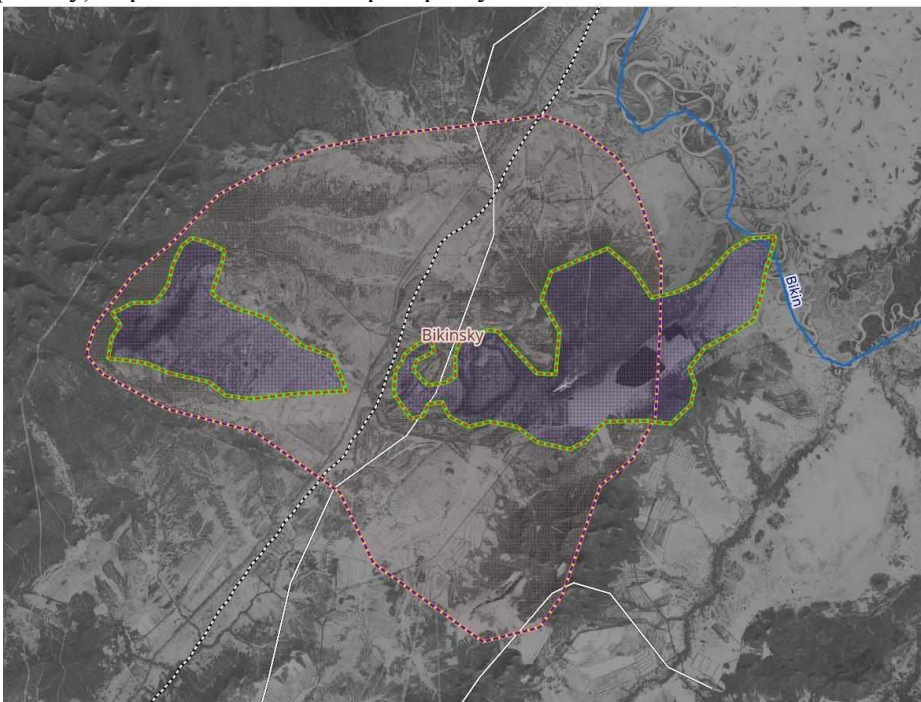
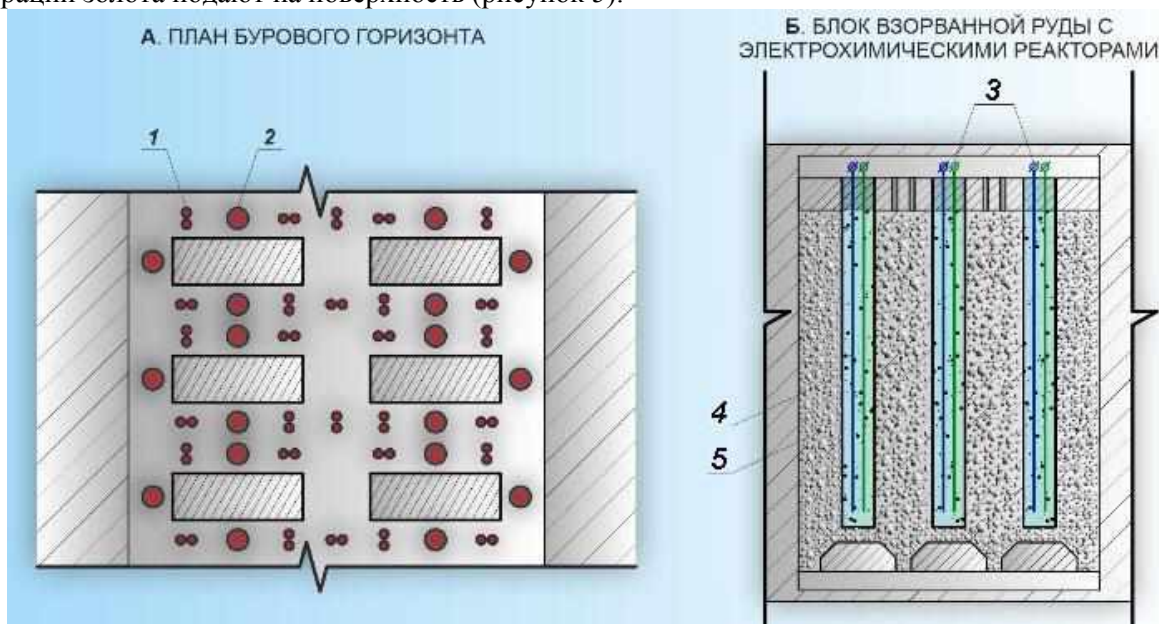


Рисунок 4 - Площадь пылевого воздействия в границах Бикинского бурогоугольного бассейна

## ОБОГАЩЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

**Физические и химические процессы разделения, концентрации и переработки минералов.** Обоснован новый реагентный комплекс для выщелачивания урана из руд, основу которого представляет метастабильная моноадугольная кислота, которая образуется в процессе обработки содовых растворов в проточных электрохимических реакторах. Метастабильная моноадугольная кислота диспропорционирует на перекись водорода, выполняющую роль окислителя, и угольную кислоту, выполняющую для урана функцию комплексообразователя. При выщелачивании предложенным раствором формируются комплексные карбонатные соединения урана, которые могут извлекаться из продуктивных растворов ионообменными смолами. Предложенный комплекс экспериментально протестирован на стенде на крупнообъемных навесках пробы урановой руды гидрогенного месторождения со значительной долей в ней сложнорастворимых урансодержащих минералов - коффинита и уранофана. Экспериментальный раствор позволил достичь 87-88-ми %-го извлечения урана в продуктивные растворы за 21 день. При этом использование контрольных сернокислотных и стандартных карбонатных (необработанных) растворов за тот же период времени обеспечивало его извлечение только в интервале 52-59%.

На основе результатов, полученных в ходе многочисленных экспериментов, разработан способ подземного блочного взрывоинъекционного выщелачивания всех ценных металлов из комплексных руд, который предусматривает: начальное окисление сульфидно-сульфосольных минералов путем взрывания скважин с ВВ и емкостями с раствором серной кислоты и перекиси водорода, образующими в выделяющихся при взрыве перегретых парах высокоактивные окислители в ионной и ион-радикальных формах; основное окисление сульфидных и сульфосольных (сульфосольных) минералов за счет электродиффузии ионов и молекул электролизных газов через пористую оболочку обсадных труб, установленных после повторного обуривания и заполненных слабым раствором серной кислоты; хлоридное электрохимическое выщелачивание золота, при котором щелочной раствор гипохлорита натрия в результате бародиффузии, инициированной давлением электролизных газов, попадает в кислотную среду, окружающую взорванную руду, в результате чего в ней формируется хлорноватистая кислота; орошение активным хлоридно-гипохлоритным раствором, который после достижения требуемой концентрации золота подает на поверхность (рисунок 5).



**Рисунок 5 – Схема электрохимического подземного выщелачивания со взрывоинъекционной подготовкой: 1 – взрывоинъекционные скважины основного диаметра; 2 - взрывоинъекционные скважины увеличенного диаметра; 3 – электроды; 4 – проницаемая оболочка; 5 – отбитая руда**

В результате исследования зёрен золота (величиной от 10-30 мкм до 3 мм) из продуктов обогащения шлихообогатительной установки (хвосты доводки, магнитная и электромагнитная фракции) с россыпью ручьёв Покровский и Верный (Хабаровский край), сформированных на

южном склоне г. Белая Гора с одноимённым золоторудным месторождением, выявлено 6 минералого-технологических типов золота: 1) высокопробные с правильными кристаллографическими огранками; 2) сростки зёрен золота разной пробы; 3) дендриты электрума (примесь Ag до 40,1% масс.); 4) сростки золота, кварца, ильменита, магнетита; 5) природные амальгамы золота с изменчивым содержанием примесей Ag и Hg; 6) вейшанит (Ag, Au)<sub>3</sub>Hg<sub>2</sub> – глубинный минерал со стабильным соотношением элементов и характерной формой. Вейшанит - упорный минерал, впервые определён в данных россыпях. Все зёрна золота вариативно содержат включения и вроски глинистых минералов, кварца, гематита, магнетита, ильменита и др. Выявленные особенности определяют неполноту извлечения золота и требуют выбора специальных эффективных технологий обогащения.

#### Публикации Института

Сотрудниками Института в 2022 году опубликованы 1 монография, 96 статей в журналах, в том числе 16 – в зарубежных, 46 опубликованных докладов; в изданиях из перечня ВАК опубликовано 51 статья, индексируемых в базе Web of Science – 13, Scopus – 27.

### 2.4. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА ИМ. Н.А.ЧИНАКАЛА СО РАН

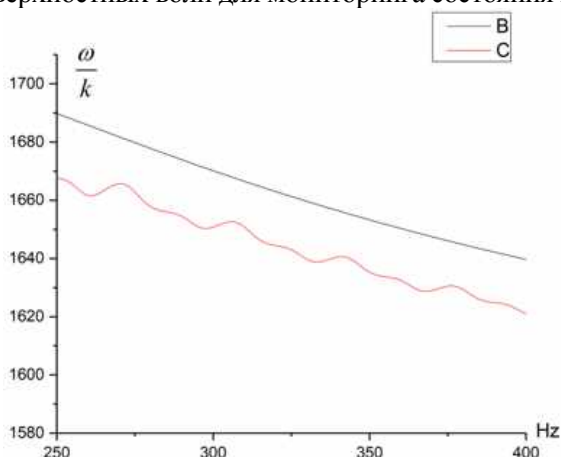
Деятельность ИГД СО РАН осуществляется в рамках трех научных направлений: «Современные геодинамические поля и процессы, вызванные техногенной деятельностью; геомеханика горных пород и их массивов», «Теория разработки месторождений полезных ископаемых и комплексная переработка минерального сырья на основе ресурсо- и энергосберегающих технологий», «Горное и строительное машиноведение».

В 2022 году ИГД СО РАН получены следующие важнейшие результаты:

По направлению: **«Современные геодинамические поля и процессы, вызванные техногенной деятельностью; геомеханика горных пород и их массивов».**

1. Проведено исследование фазовых характеристик упругих волн, распространяющихся по поверхности подземных выработок, применительно к решению задач контроля состояния горных пород в окрестности выработанного пространства. Разработан численный метод моделирования распространения волн вдоль поверхности выработок произвольной геометрии в неоднородных средах. Установлено, что по фазовым характеристикам и дисперсионным кривым поверхностных волн можно оценивать состояние и определять упругие параметры горных пород в окрестности цилиндрической выработки на расстояние до 1,7 ее радиуса (рисунок 1).

Полученные результаты указывают на перспективность использования характеристик поверхностных волн для мониторинга состояния пород вблизи горных выработок и сооружений.

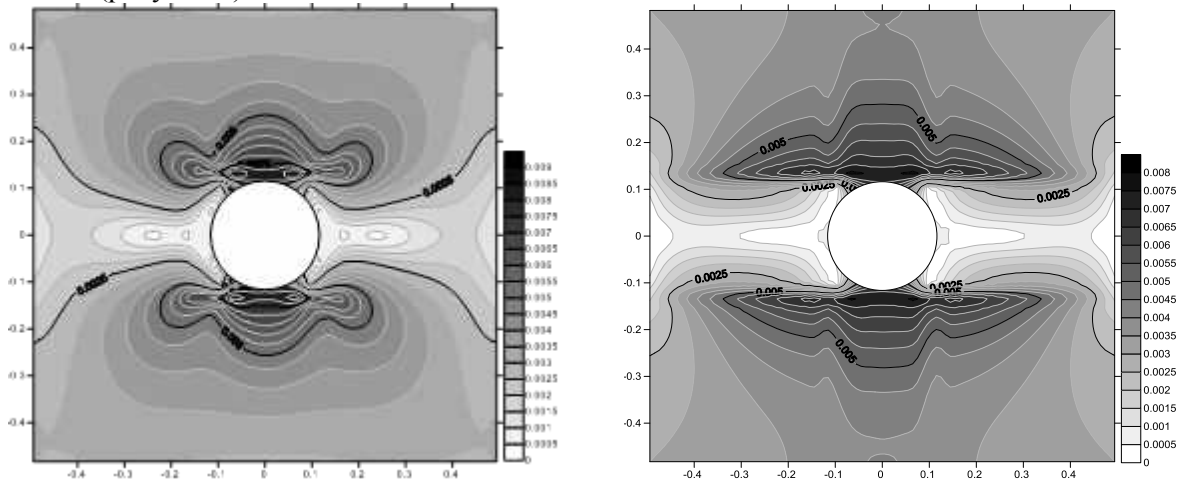


**Рисунок 1 - Дисперсионные кривые фазовых скоростей поверхностных волн, полученные на основе численного расчета (С) и аналитического метода (В)**

2. Развита методика построения многомасштабных математических моделей геосреды. На первом масштабном уровне среда предполагается линейно упругой, на последующих — учитываются пластические деформации и внутреннее трение. Показано, что в первом приближении модель переходит в упругопластическую, учитывающую локальные изгибы структурных элементов геосреды. Последующие приближения позволяют учитывать неоднородность распределения деформаций на микроуровнях.



Разработанная математическая модель позволяет описывать напряженно-деформированное состояние массива горных пород в условиях больших градиентов напряжений. Получено численное решение задачи о распределении напряжений в породном массиве в окрестности выработки. Показано, что учет локальных изгибов приводит к более глубокому распространению зоны повышенной концентрации напряжений вглубь массива от контура выработки (рисунок 2).

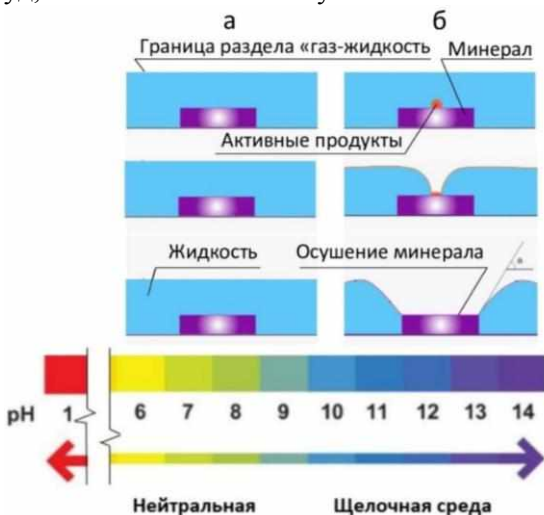


**Рисунок 2 – Распространение зон повышенной концентрации максимальных касательных напряжений (отнесены к весу вышележащих слоев) вглубь массива по мере увеличения (слева направо) структурного параметра**

По направлению: «Теория разработки месторождений полезных ископаемых и комплексная переработка минерального сырья на основе ресурсо- и энергосберегающих технологий»

1. На основании разработанного механизма активации флотации ряда сульфидов солями тяжелых металлов раскрыты причины подавления флотиремости пирита в нейтральной области pH и высокое его извлечение в щелочной области при увеличенном содержании ионов  $Fe^{2+}$  и  $Fe^{3+}$ . Экспериментально показано, что растекание продуктов взаимодействия ионов железа с ксантогенатом в нейтральной области pH и повышенном содержании ионов металла не наблюдается (рисунок 3а). Снижение содержания ионов железа приводит к образованию продуктов взаимодействия, активных по отношению к границе раздела «газ-жидкость». Активные продукты снимают кинетическое ограничение образованию флотационного контакта и восстанавливают флотиремость пирита (рисунок 3б).

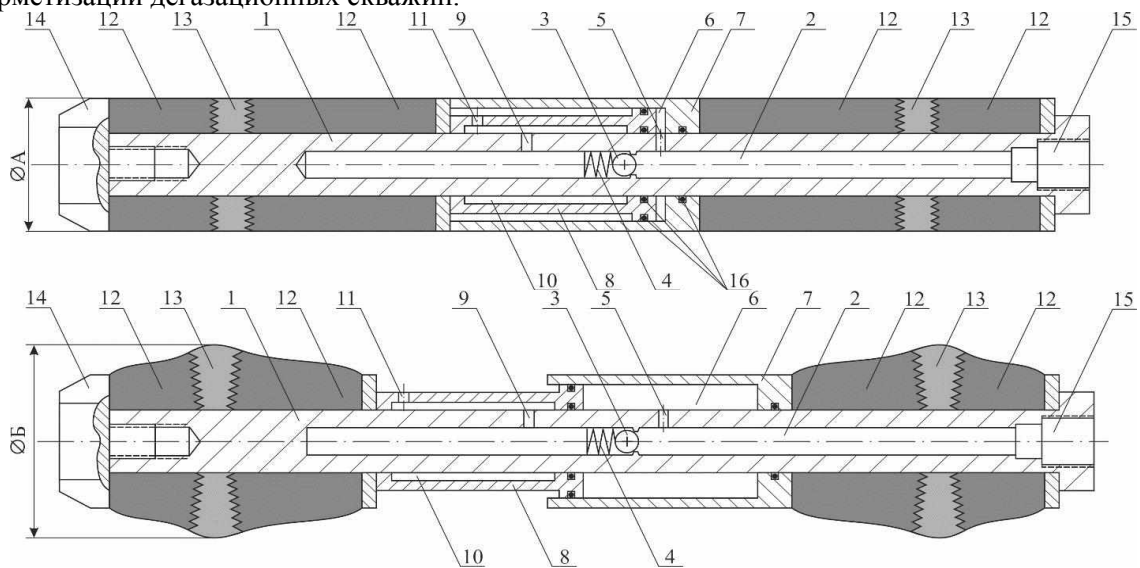
Раскрытие механизма активации флотации ионами тяжелых металлов и его изучение позволяют разрабатывать новые технологии селективного извлечения полезных минералов из сложных полисульфидных руд, методы удаления пирита при обогащении железосодержащих руд, повышении качества угля.



**Рисунок 3 - Флотационная активность осадков ксантогената от pH системы**

2. С целью повышения эффективности дегазации пологих угольных пластов низкой прочности из скважин диаметром 130 мм разработана оригинальная конструкция уравновешенного герметизатора.

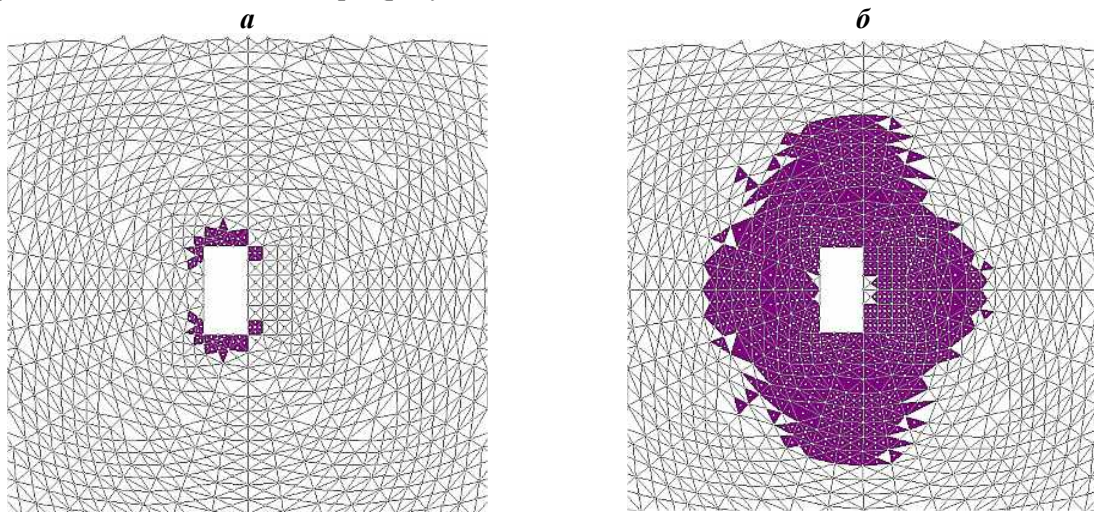
Особенностью конструкции (рисунок 4) является наличие специальных мягких вставок 13 в уплотнительных элементах 12, которые позволяют значительно увеличить надежность герметизации дегазационных скважин.



**Рисунок 4 – Схема полиуретанового уравновешенного герметизирующего устройства:**  
 1 – корпус; 2 – канал; 3 – шарик; 4 – пружина; 5 – радиальное отверстие; 6 – рабочая камера;  
 7 – цилиндр; 8 – поршень; 9 – радиальное отверстие; 10 – проточка; 11 – радиальное отверстие;  
 12 – уплотнительный элемент; 13 – вставка; 14 – стопорящая гайка; 15 – гнездо; 16 – кольцевое уплотнение

Результаты исследований показали, что уравновешенный герметизатор данной конструкции позволяет на 35% повысить надежность герметизации дегазационных скважин при интервальном гидроразрыве угольного массива.

3. Разработан алгоритм расчета напряженно-деформированного состояния массива горных пород, позволяющий исследовать поведение сплошной среды с априорно заданным распределением напряжений под воздействием импульсных нагрузок, и создана программа для отслеживания процесса изменения во времени полей перемещений, напряжений и деформаций на различной глубине от дневной поверхности, позволяющие определять ожидаемую конфигурацию зон разрушений в массиве с обеспечением безопасности при разработке рудных месторождений в Западной Сибири (рисунки 5 и 6).



**Рисунок 5 – Зоны разрушения массива после взрывной отбойки добычного блока:**  
 а — число шагов во времени 50; б — число шагов во времени 300



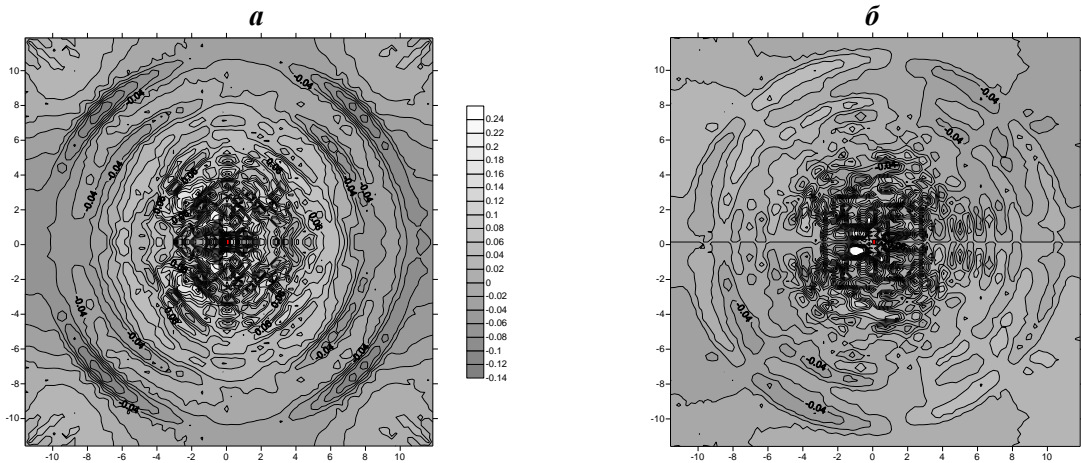


Рисунок 6 – Распределение нормальной компоненты напряжений  $\sigma_{xx}$  (а) и  $\sigma_{yy}$  (б) через 10 секунд после взрыва

4. Разработана концепция горнотехнической параметризации массивов пород при добыче полезных ископаемых, основанная на установлении корреляционных связей между геолого-структурной, рудо-породной, техногенной моделями месторождения, типом напряженного состояния геосреды, позволяющих с единых позиций исследовать особенности проявления горного давления, осуществлять выбор, обоснование порядка выемки рудных залежей и параметров геотехнологий (рисунок 7). Реализована в проектной документации на отработку глубоких горизонтов Казского железорудного месторождения.

Реализуемый комплекс исследований позволяет начать обсуждения о возможности принятия дополнений в категориях развития методов и принципов проектирования отечественных рудников в соответствии с международными нормами и стандартами, доказавшими свою эффективность.

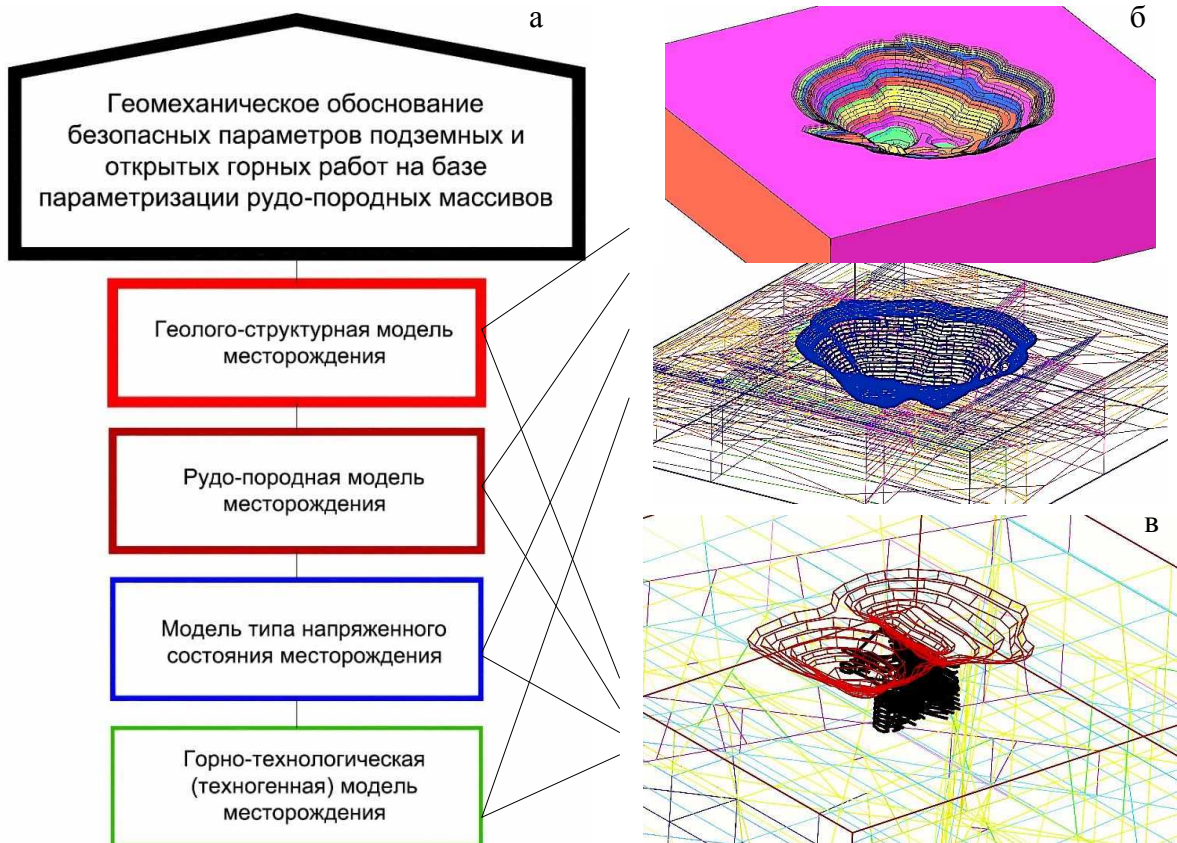


Рисунок 7 – Концепция параметрического моделирования горнотехнической обстановки – а; геомеханическое обоснование устойчивости бортов карьера Томинский – б; обоснование безопасности отработки месторождения Маломыр при переходе с открытых работ на подземную выемку – в

5. Обоснованы способы и параметры развития горных работ на брахисинклиналиях угольных месторождениях с внутренним отвалообразованием вскрышных пород на основе использования бестранспортной технологии и выработанного карьерного пространства, обеспечивающих интенсивное развитие добычи угля с минимальными эксплуатационными расходами и снижением негативного воздействия на окружающую среду. Для условий Эльгинского месторождения предложена ресурсосберегающая технологическая схема отработки ряда мощных угольных пластов с временными отвалами вскрышных пород, позволяющая в начальный период эксплуатации разреза вести добычу с минимальными коэффициентами вскрыши и качеством угля с учётом текущей конъюнктуры рынка. В отработку может быть включен один или несколько пластов с размещением отвалов на почве нижнего вынимаемого пласта как на равнинных, так и на нагорных участках (рисунок 8).

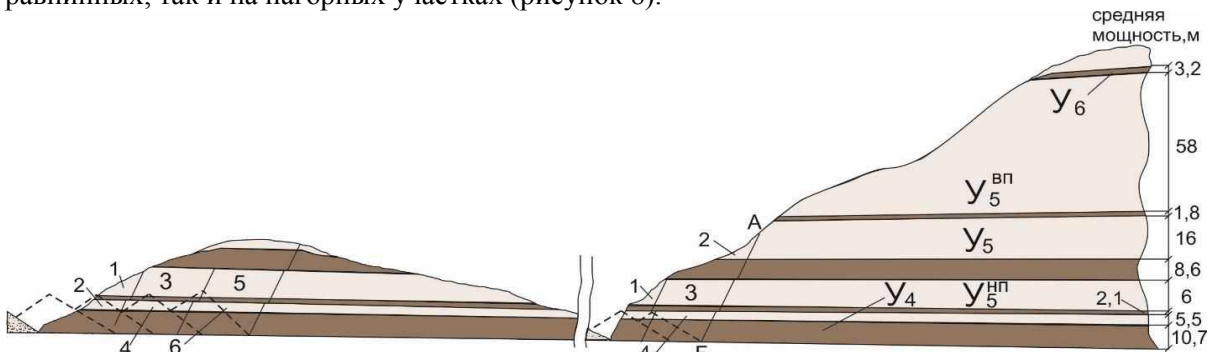


Рисунок 8 – Схема отработки угольных пластов  $U_4$  и  $U_5$  Эльгинского месторождения с временными отвалами вскрышных пород; 1–6 – последовательность отработки уступов

6. Определена область миграции метана, связанная с изменением геомеханического состояния горных пород, мощностью и местом взрывов. Установлена минимальная амплитуда колебаний угольного массива и рассчитана плотность потока сейсмической энергии, при которой начинается дополнительное поступление метана в подземные горные выработки. При плотности потока сейсмической энергии  $1,5 \times 10^{-3}$  Дж/м<sup>2</sup> в угольном массиве на удалении от места взрыва около 60-70 м наблюдается до 10% дополнительного выхода объема метана в выработку. Пиковое значение амплитуды скорости смещения частиц угля, зарегистрированной сейсмоприёмником, на контуре выработки составляет 0,11 мм/с (рисунок 9). Спектральный анализ сигналов скорости смещения угля от взрывного источника выявил наличие частоты основной гармоники в окрестности 31,5 Гц (рисунок 10). Получена зависимость уменьшения амплитуды скорости смещения среды и плотности потока сейсмической энергии с удалением от места взрыва. Рассчитан радиус дегазации угольного массива в зависимости от начально создаваемой амплитуды колебаний и плотности потока сейсмической энергии и показано распределение плотности потока сейсмической энергии от расположения источника взрыва (рисунок 11).

Предложен расчет определения зоны дополнительного газовыделения в угольном массиве в зависимости от начально создаваемой амплитуды колебаний для нахождения параметров виброволнового воздействия на метаноносный пласт и обоснования технологии его дегазации.

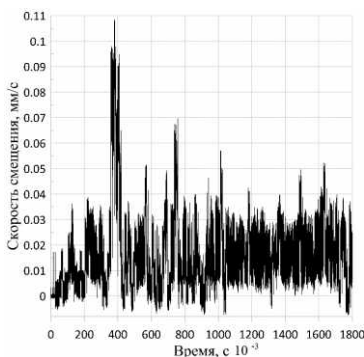


Рисунок 9 - Сейсмический сигнал от взрыва

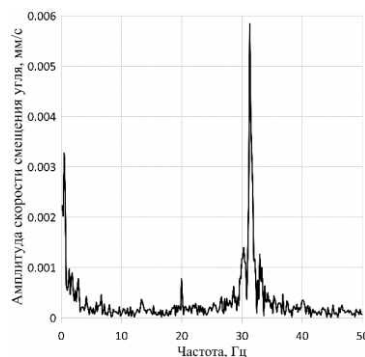
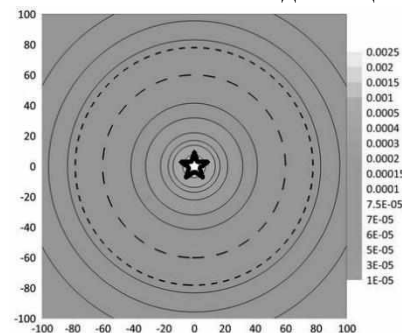


Рисунок 10 – Амплитудно-частотный спектр сейсмического сигнала



★ Местоположение взрыва

Рисунок 11 – Распределение плотности потока сейсмической энергии от расположения источника взрыва

7. Разработана технология обогащения и химической модификации цеолитсодержащих пород. Технология основана на применении направленных акустических, термических, радиоактивных и энергетических воздействий при химической модификации цеолитсодержащих пород, что обеспечивает диспергирующий эффект и повышение контрастности свойств, а также увеличивает степень воздействия модифицирующих растворов и глубину их проникновения в объем минеральных компонентов за счет наличия образованных с применением направленной рудоподготовки, микроскопических трещин и каналов.

8. Разработан способ повышения эффективности кучного выщелачивания ценных металлов в криолитозоне за счёт снижения потерь и увеличения технологической и экологической надёжности работы штабеля выщелачивания. Данный способ позволяет вовлечь в переработку ценные металлы (золото, серебро) в криолитозоне при увеличении эффективности объёмов переработки минерального сырья и продолжительности выщелачивания ценных компонентов в криолитозоне с обеспечением экологически безопасной технологии защиты грунтовых вод от загрязнения.

По направлению: «Горное и строительное машиноведение»

1. Разработана принципиальная схема пневматического ударного механизма, позволяющего изменять энергию ударных импульсов в процессе работы без остановки механизма и предназначенного для реализации адаптивных технологических процессов бурения, в которых режим ударно-импульсного воздействия необходимо выбирать в соответствии с физико-механическими свойствами горных пород. Методами численного имитационного моделирования и экспериментальных исследований физической модели определены конструктивные и динамические параметры механизма, в котором энергия ударных импульсов и их частота в процессе регулирования изменяются разнонаправлено, то есть при уменьшении энергии частота импульсов увеличивается, и наоборот (рисунок 12).

Такое техническое решение, по сравнению с регулированием энергии импульсов посредством изменения площади проходного сечения питающей магистрали, позволяет уменьшить потерю ударной мощности примерно в 2,5 раза, увеличить за счет этого скорость бурения и эффективность удаления шлама из скважины.

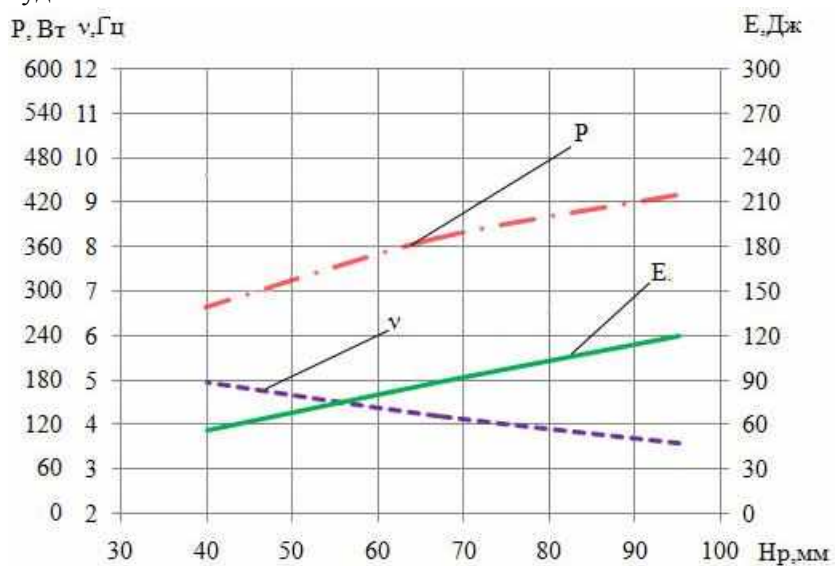


Рисунок 12 – Зависимость динамических параметров пневмоударного механизма от перемещения регулировочного патрубка

2. Разработана аэродинамическая схема шахтного осевого реверсивного вентилятора главного проветривания с неоднородной лопаточной решёткой, позволяющая достичь производительности при реверсе 0,75 – 0,84 от производительности прямого режима в той же сети (рисунок 13). Новизна схемы состоит в установке на рабочем колесе одновременно двух типов лопаток с различной кривизной средних линий их профилей.



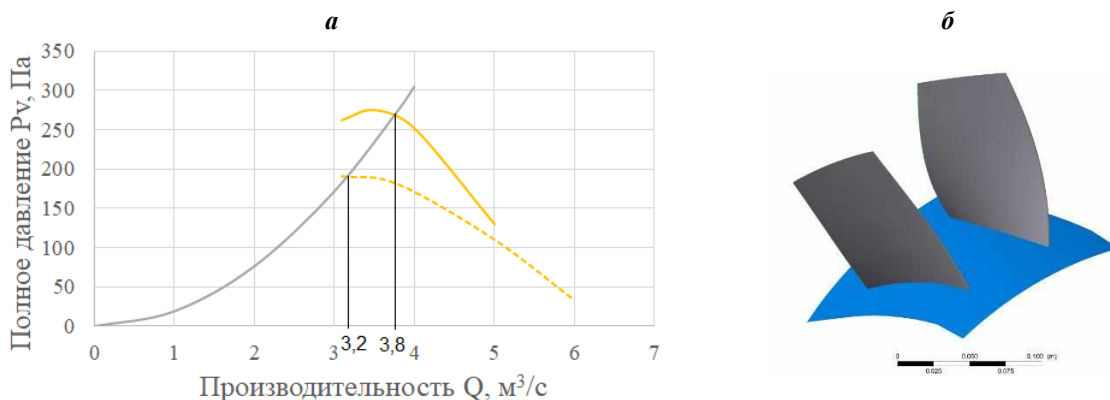
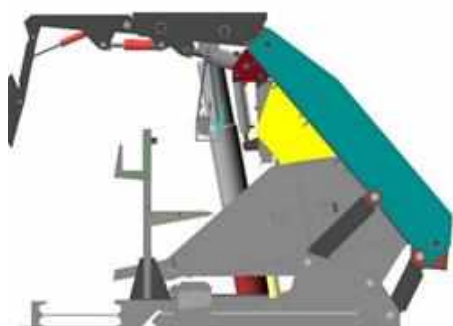


Рисунок 13 – Аэродинамическая характеристика вентилятора (а), выполненного по аэродинамической схеме с неоднородной лопаточной решёткой (б). Сплошная линия – прямой режим работы, пунктирная – реверсивный режим

## 2.5. ИНСТИТУТ УГЛЯ ФЕДЕРАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЦЕНТРА УГЛЯ И УГЛЕХИМИИ СО РАН

### Создание нового направления конструирования механизированных крепей с выпуском угля подкровельной и межслоевой толщи

Совместно с ИГД СО РАН им. Н.А. Чинакала теоретически методом дискретных элементов, где горная масса представляется в виде совокупности сферических частиц (дискретных элементов), установлено и экспериментально доказано, что производительность (или массовый расход) питателей определяется как суммарная масса дискретных элементов, пройденных через плоскость за единицу времени. Изменение силовых характеристик и производительности питателей в процессе выпуска имеют периодический характер. При использовании гладкого (I) и ступенчатого (II) питателей, ориентированных вдоль плоскости движения, достигается максимальная средняя производительность (рисунки 1, 2 и 3).



	Плоский питатель (I): угол наклона к горизонтальной плоскости $\alpha = 12^\circ$ ; длина питателя $l_f = 3,5$ м
	Ступенчатый питатель (II): $l_f = 0,7$ м; $h_2 = 0,05$ м
	Зубчатые питатели: (III) $l_f = 0,5$ м; $h_2 = 0,1$ м; (IV) $l_f = 0,7$ м; $h_2 = 0,1$ м

Рисунок 1 – Конструкция механизированной крепи с выпуском угля и параметры питателей

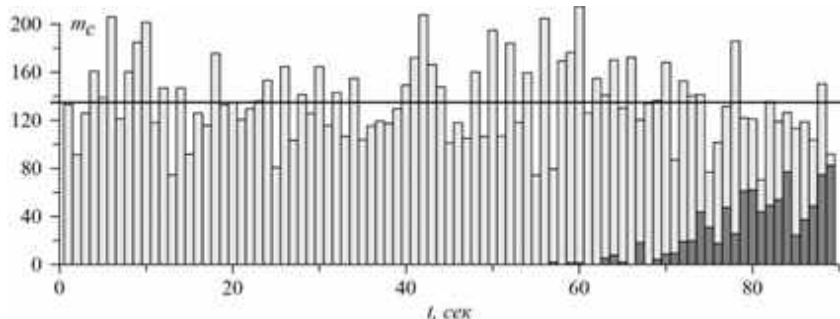


Рисунок 2 – Массовый расход угля (белый цвет) и пустой породы (серый цвет) в процессе выпуска для ступенчатого питателя



Рисунок 3 – Внешний вид лабораторной установки по исследованию питателя

1. Худынец Е.А., Клишин С.В., Клишин В.И. Исследование питателя механизированной крепи для выемки мощных пологих пластов с управляемым выпуском угля // Горное оборудование и электромеханика. - 2022. - №2 (160). - С. 31-38. DOI: 10.26730/1816-4528-2022-2-31-38.

2. Секция механизированной крепи очистного забоя с устройством регулируемого выпуска угля: патент на полезную модель 210254 Российская Федерация / В.И. Клишин, Б.А. Анферов, Л.В. Кузнецова, С.В. Клишин, Е.А. Худынец / опубликован 04.04.2022

**Влияние изменения напряженно-деформированного состояния и трещинно-порового пространства углеродного массива на распространение акустических волн**

Подтверждена принципиальная возможность применения сейсмоакустических методов измерений для определения влияния технологических операций (метод направленного гидроразрыва кровли и метод поинтервального гидроразрыва угольного пласта), сопутствующих ведению горных работ, на изменение структурных характеристик углеродного массива, и разработаны основные положения методики оценки такого влияния.

Показано, что геомеханические изменения, характеризуемые увеличением объема трещинно-порового пространства, контрастно выделяются в регистрируемом комплексе сейсмической информации снижением скоростей распространения продольных объемных волн во вмещающих породах в области активной кровли и поверхностных волн, распространяющихся по угольному пласту в пределах горизонта его залегания (рисунки 4, 5 и 6).

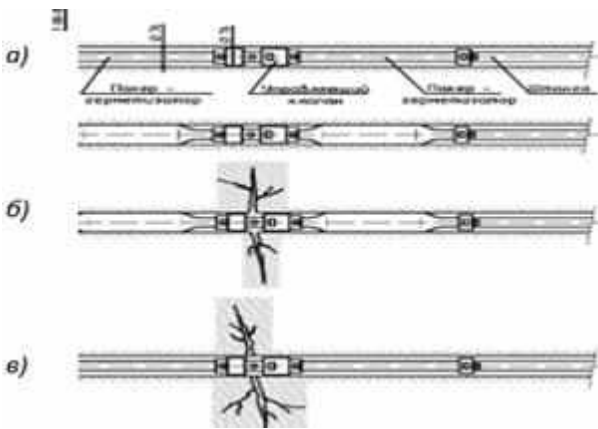


Рисунок 4 – Технологическая схема реализации поинтервального гидроразрыва угольного пласта: а – ввод пакера в скважину; б – герметизация скважины; в – гидроразрыв угольного массива

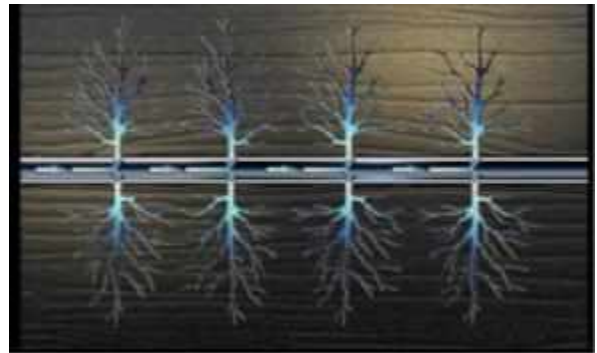


Рисунок 5 – Развитие трещин поинтервального гидроразрыва

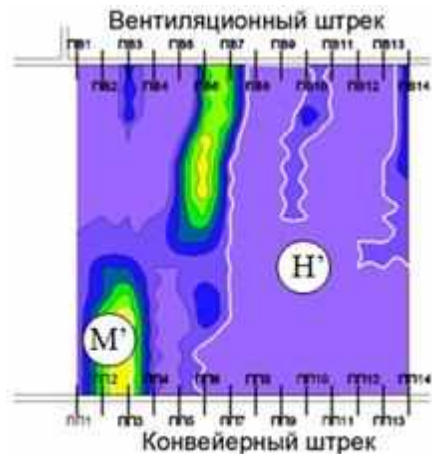
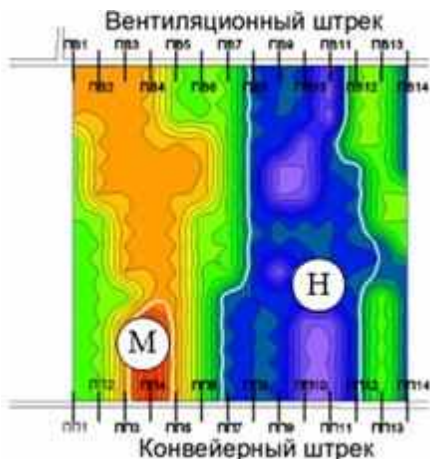


Рисунок 6 – Интерпретированный геофизический разрез распределения скоростных характеристик в пределах горизонта залегания угольного пласта: а) до гидроразрыва; б) после гидроразрыва

1. **Клишин В.И., Тайлаков О.В., Соколов С.В., Makeев М.П.** Оценка геомеханического состояния угленосного массива в сейсмоакустических исследованиях выемочных участков угольных шахт // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2022 № 4.

2. **Tailakov, O.V.** Boosting the efficiency of hydrodynamic impact on a coal-rock massif employing the method of seismic tomography to control massif's parameter / O.V.Tailakov, M.P.Makeev, S.V.Sokolov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2021. – P. 012005. – DOI 10.1088/1755-1315/823/1/012005

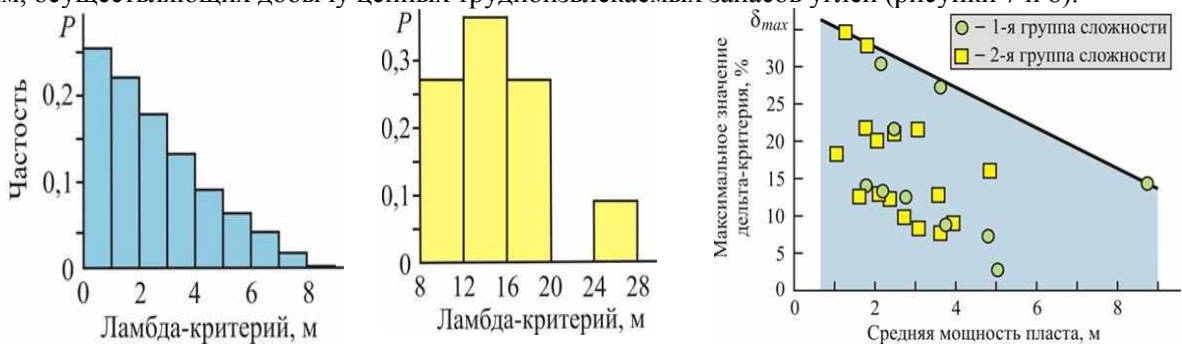
3. Поинтервальный гидроразрыв угольного пласта для интенсификации процесса дегазации / **В.И. Клишин, Г.Ю. Опрук, С.В. Клишин и др.** // Уголь. 2022. № S12. С. 16-22. DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-S12-16-22>

4. Сквжинное устройство для осуществления гидроразрыва горных пород: патент на изобретение 2760271 Российская Федерация / **В.И. Клишин, Б.А. Анферов, Л.В. Кузнецова, Е.А. Худынецов, Г.Ю. Опрук, С.В. Клишин** / опубликован 23.11.2021

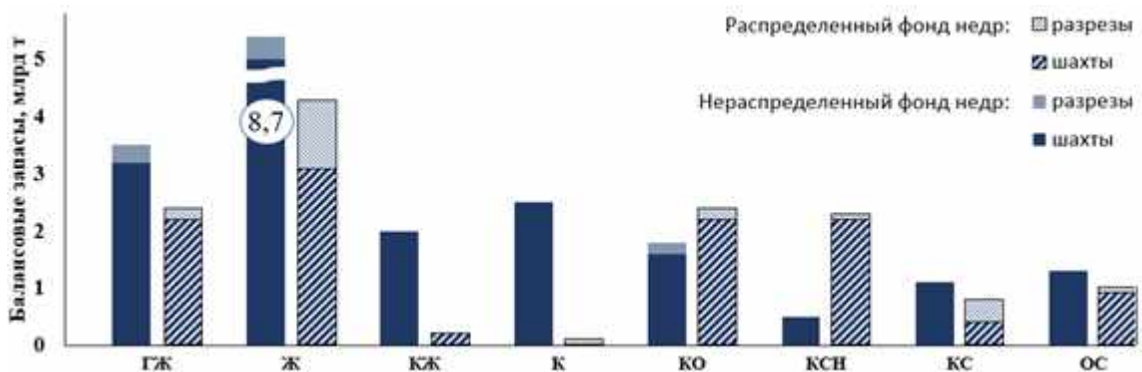
**Комплексный подход, учитывающий влияние достоверности геологической информации на безопасность, рациональность и эффективность принимаемых геотехнологических решений**

На основании актуальных шахтных данных, полученных в результате анализа успешной отработки 308 млн т запасов угля, впервые установлен допустимый уровень неоднозначности изучения наиболее изменчивых и значимых показателей угольных месторождений: гипсометрии и мощности угольных пластов, численно оцениваемые лямбда- и дельта-критериями разведанности соответственно.

Доказана необходимость совершенствования технологий подземной добычи угля, исключая риски групповых несчастных случаев, применительно к наиболее опасным предприятиям, осуществляющих добычу ценных трудноизвлекаемых запасов углей (рисунки 7 и 8).



**Рисунок 7 – Допустимая неопределенность изученности: а-б - гипсометрии пласта (а - по участкам успешно отработанным; б - по участкам списания запасов); в – мощности в зависимости от средней мощности пласта**



**Рисунок 8 – Марочная структура балансовых запасов ценных коксующихся углей**

1. **Писаренко М.В., Шаклеин С.В.** Сырьевая база коксующихся углей: состояние и перспектива. // Кокс и химия. - 2022. - № 10. - С. 2-7. DOI: 10.52351/00232815\_2022\_10\_2.

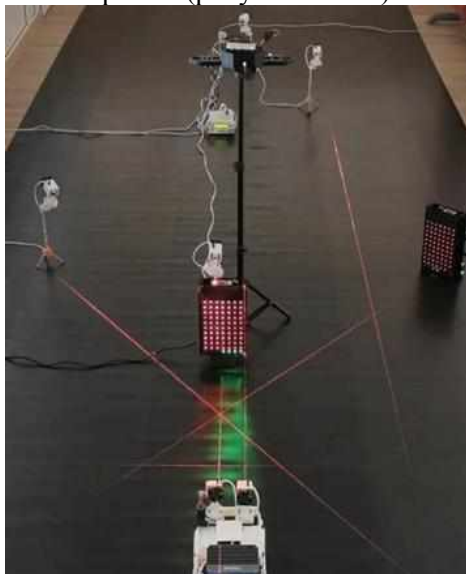
2. **Клишин В.И., Писаренко М.В., Шаклеин С.В.** Перспективные технологии освоения месторождений коксующихся углей подземным способом. // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. – 2022. – № 1. - С. 115-119. DOI: 10.15372/FPVGN2022090115

### ***Алгоритм управления движением и корректировки маршрута автономного транспортного средства на основе машинного зрения и лазерной подсветки***

Реализован алгоритм управления движением и корректировки маршрута автономного транспортного средства на основе компьютерного зрения и подсветки светового маркера.

Машинное зрение реализует процесс выделения, идентификации и преобразования видеоинформации. Отличием подхода является обработка не всего изображения, а только сегментированной части от проецируемых лазерных маркеров. Обработка изображений реализована программными средствами LabVIEW и совокупностью алгоритмов среды Vision Assistant.

Разработанный алгоритм и реализующие программно-аппаратные средства позволяют проводить исследования управления автономным транспортным средством на основе анализа техническим зрением зависимостей отклонения координатной линии лазерного маркера от лазерной подсветки траектории при различных уровнях внешней освещенности и состояния дорожного покрытия (рисунки 9 и 10).



**Рисунок 9 – Движение макета автономного транспортного средства по лазерной подсветке**



**Рисунок 10 – Макет автономного транспортного средства**

1. *Kizilov S.A., Nikitenko M.S.* The concept of using computer vision in control of autonomous transport //IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – IOP Publishing, 2021. – Т. 823. – №. 1. – С. 012018.

2. Программа системы обнаружения препятствий автономным транспортным средством на основе машинного зрения: свидетельство о регистрации ПрЭВМ 2022684634 Российская Федерация / *Д.Ю. Худоногов, Д.О. Верховцев, С.А. Кизиллов, М.С. Никитенко* / опубликована 15.12.2022.

### ***Роботизированная многофункциональная шагающая механизированная крепь***

Обеспечивает надежное крепление кровли и бортов выработки, позволяет защитить технологическое оборудование роботизированного комплекса в горной выработке, обеспечивает геометрическую неизменяемость секций устройства во время передвижения и постоянный распор в следующих схемах: скоростная проходка горных выработок; камерно-столбовая система; крепь сопряжения; аварийный комплекс для выемки заваленного под землёй оборудования.



Полностью с нуля разработан, изготовлен и испытан законченный прототип силовой части управления электрогидравлическими клапанами.

Разработан и испытан универсальный пульт управления, адаптируемый для различных видов горно-шахтного оборудования (рисунки 11, 12 и 13).



Рисунок 11 – Устройство управления электрогидравлической системой



Рисунок 12 – Имитационная модель технологии скоростной проходки



Рисунок 13 – Интерфейсная часть пульта управления

1. *Klishin V.I.* High-Rate Mining Technology Simulation Modeling / *V.I. Klishin, A.N. Starodubov, V.V. Zinov'ev, A.D. Turgenev* // Journal of Mining Science. – 2022. – Т. 58. – №. 3. – С. 398-404. DOI: 10.1134/S1062739122030061.

2. *Клишин В.И., Кузнецова Л.В., Анферов Б.А.* Применение шагающей крепи для безопасной добычи угля с борта разреза комплексом глубокой разработки пластов// Безопасность труда в промышленности. - 2022. - № 6. - С. 40-45. DOI: 10.24000/0409-2961-2022-6-40-45.

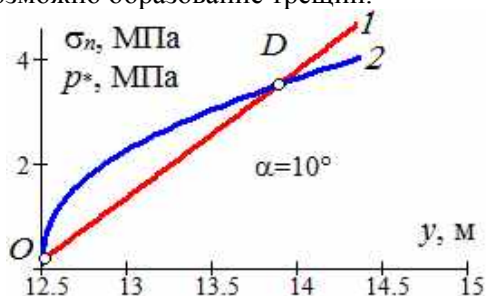
3. *Клишин В.И., Малахов Ю.В.* Организационные аспекты скоростной проходки подземных горных выработок с использованием механизированной шагающей крепи //Горное оборудование и электромеханика. – 2021. – №. 4. – С. 9-15.

**Оценка возможности внезапного выброса метана и угля на заданных интервалах изменения параметров угольного пласта и кривой распределения свободного метана угольных пластов**

Разработан теоретический подход к оценке газодинамических явлений при отработке угольных пластов. Он связывает в единые целые вопросы напряжённого состояния пласта и давление внутрипластового метана, позволяя определять соотношение между напряжённым состоянием пласта и давлением метана, при котором возможно образование трещин, порождающих газодинамические явления.

На рисунке 14 показаны эпюры нормального напряжения  $\sigma_n$  (линия 1) и порового давления метана (линия 2), построенные вдоль оси пласта для следующих исходных данных: угол падения кливажных трещин  $\alpha=10^\circ$ ; глубина  $H=600$  м; объёмный вес пород  $\gamma=25$  кН/м<sup>3</sup>; предел прочности пласта  $\sigma_0=10$  МПа; угол внутреннего трения пласта  $\delta=20^\circ$ ; предел прочности прослойка  $\sigma_{0s}=4,6$  МПа; ширина выработки  $a=25$  м, высота выработки  $h=3$  м, мощность прослойка  $h_s=0,75$  м.; скорость движения очистного забоя  $\theta=20$  м/сутки, пористость пласта  $m=0,25$ ; проницаемость пласта  $K_0=1,5$  мД, вязкость метана  $\mu=0,011$  сП=  $1,1 \cdot 10^{-11}$ .

На участке OD кривая порового давления метана расположена выше эпюры  $\sigma_n$  и поэтому возможно образование трещин.



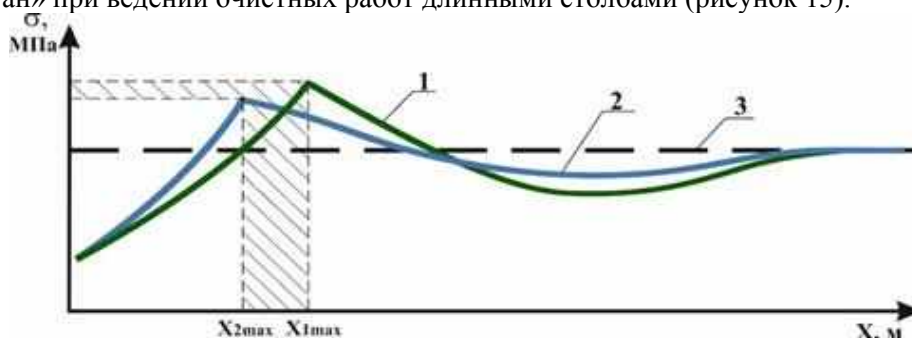
**Рисунок 14 – Эпюры нормального к поверхности кливажной трещины напряжения  $\sigma_n$  (кривая 1) и порового давления метана  $p^*$  (кривая 2) вдоль оси пласта**

Представленный подход позволяет выполнять расчёты газо-геомеханического состояния угольного пласта, производить прогноз газодинамических явлений и составлять рекомендации, обеспечивающие безопасные условия труда при отработке газоносных пластов.

1. **Черданцев Н.В.** Решение задачи о раскрытии метаном трещин в предельно напряжённой зоне пласта // Безопасность труда в промышленности. - 2022. - №2. - С. 13–19. DOI:10.24000/0409-2961-2022-2-13-19.

**Закономерности газовыделения из угольного пласта в зависимости от геомеханических напряжений при техногенном воздействии на углепородный массив**

Установлено, что повышению точности определения конвергенции вмещающих пород и расчета параметров зоны напряженно-деформированного состояния массива способствуют полученные зависимости усадки призабойной части угольного пласта от его природной газоносности, метаноёмкости и выхода летучих веществ, что позволяет уточнить положение зон разгрузки массива горных пород, влияющее на газовыделение из разрушаемой системы «уголь-метан» при ведении очистных работ длинными столбами (рисунок 15).



**Рисунок 15 – Схема к расчету параметров зоны напряженно-деформированного состояния массива с учётом усадки призабойной части угольного пласта при ведении очистных работ 1 – до усадки пласта; 2 – после усадки пласта; 3 – геостатические напряжения ( $\gamma H$ );  $X_{1max}$ ;  $X_{2max}$  – расстояния от краевой части забоя до максимальных напряжений для условий 1; 2, соответственно**

Разработаны предложения по уточнению связи метанообильности подготовительной выработки с газогемеханической разгрузкой в призабойной части пласта, основанной на учёте влияния неоднородности темпов продвижения выработки.

1. *Kozyreva, E.N., Shinkevich, M.V.* Practical aspects of induced structurization of rock mass // Gornyi Zhurnal. 2022. № 3. С. 4-8. DOI: 10.17580/gzh.2022.03.01

2. *Plaksin M.S, Rodin R.I.* Influence of dissolved methane on the error in direct determination of coal bed's gas // Coke and Chemistry. – 2022. – Vol .65. – № 3. pp. 94-97. DOI: 10.3103/S1068364X22030061

**Исследование процессов смачивания угольной поверхности и фильтрации жидкостей в трещиновато-пористой среде нативного угля**

Отработана методика оценки смачиваемости поверхности угля посредством фильтрации жидкости через слой порошкообразной пробы - модель пористо-трещиноватого пласта. Установлено влияние крупности угольной пробы на фильтрационные свойства слоя и обоснован оптимальный размер частиц (0,1-0,2 мм) (рисунок 16, а). Установлено влияние влажности угольной пробы. Показано, что избыточная влага угля способствует повышению гидратированности поверхности частиц и, как следствие, повышению смачивающих и фильтрационных свойств угольного слоя по отношению к воде (рисунок 16, б). Установлено влияние окисленности поверхности угля при ее первичном взаимодействии с воздушной средой на соотношение функциональных кислородных групп в органической массе углей (ОМУ) (индекс гидрофильности поверхности *HI*). Показано, что окислительная активация угольной поверхности с образованием полярных О-групп (гидроксильных, карбоксильных) способствует повышению гидратированности контактирующего слоя и фильтрационных свойств угля (рисунок 16, в). Установлено влияние химического состава ОМУ, преобразующегося с ростом степени метаморфизма углей. Показано, что гидратационные свойства, определяющиеся содержанием в ОМУ полярных гетероатомов О, N и S и, как следствие, фильтрационная активность, снижаются по мере роста химической зрелости углей (метаморфизма) (рисунок 16, г).

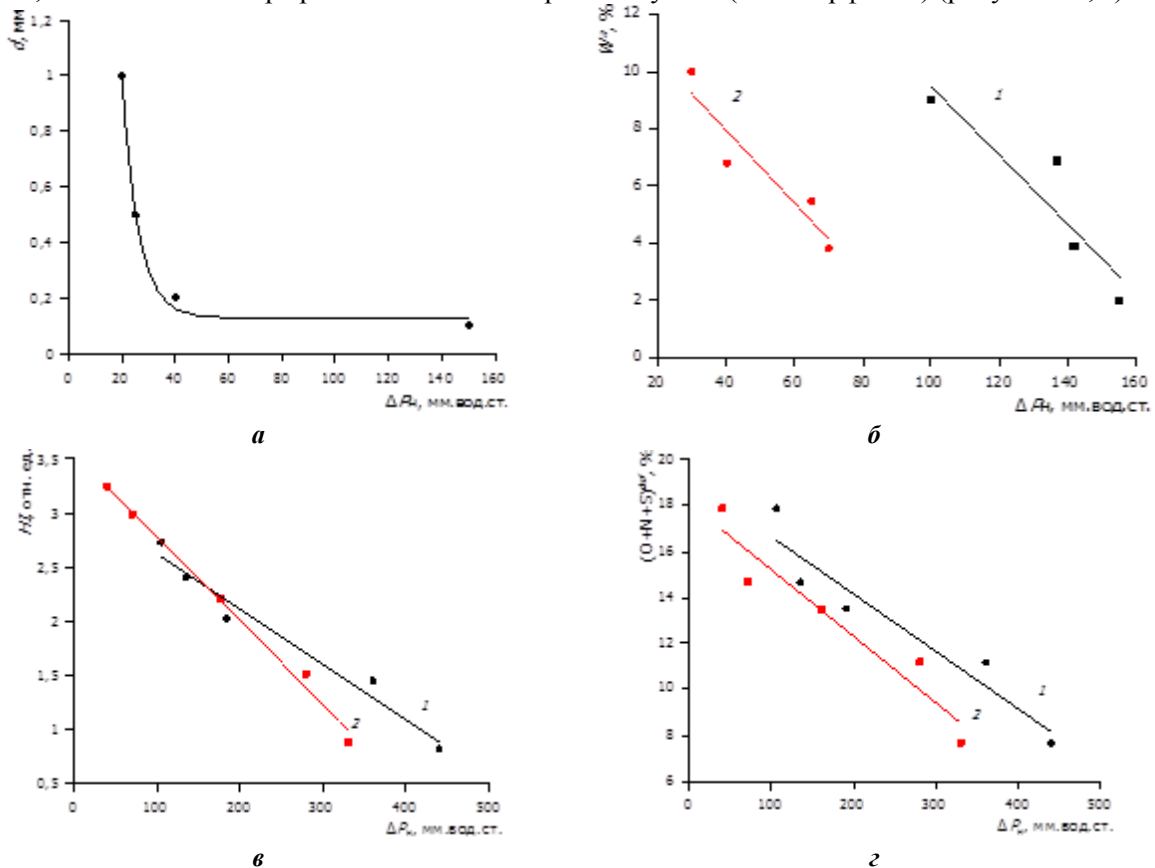


Рисунок 16 – Зависимость начального градиента напора воды  $\Delta P_n$  от диаметра частиц (а), влажности (б), гидрофильности поверхности *HI* (в) и суммарного содержания кислорода, азота и серы в ОМУ (г) для нативных (1) и поверхностноокисленных (2) образцов углей

1. **Патраков Ю.Ф., Семенова С.А., Майоров А.Е., Созинов С.А.** Оценка изменения смазываемости поверхности цементными растворами при взаимодействии низкометаморфизованного угля с воздухом // Кокс и химия. - 2022. - № 1. - С. 2-8. DOI: 10.52351/00232815\_2022\_01\_2. DOI: 10.3103/S1068364X22010045.

### **Методология формирования цифровых методов оптимизации доступа к георесурсам**

Разработан методический подход в последовательном формировании цифровых моделей объектов горной технологии и их оптимизации на основе технико-экономического анализа связанных с ними технологических процессов. Для реализации инструментов проектирования и планирования горных работ используется модифицированная для угольных месторождений программная платформа системы MineFrame (по Генеральному соглашению с Горным институтом ФИЦ КНЦ РАН). В программной платформе включены этапы обоснования параметров комбинированной (открыто-подземной) геотехнологии освоения недр Кузбасса.

◆ Этап 1. Создание цифровых моделей рельефа и производственной инфраструктуры угольного разреза и шахты.

◆ Этап 2. Создание геологической и геологоструктурной моделей свиты угольных пластов.

◆ Этап 3. Выбор конструкции бортов и создание экономически обоснованной модели угольного разреза при переходе с открытого на подземный способ разработки, обоснование параметров комбинированной геотехнологии.

◆ Цифровые модели рельефа и производственная инфраструктура использованы в создании цифрового метода для решения задач оптимизации доступа к георесурсам. Продолжены работы по решению оптимизационных задач. Это выбор местоположения коммуникационного коридора на поверхности и прилегание новых коммуникаций к существующим при освоении новых угольных месторождений методом динамической оптимизации.

Обоснована структура перспективного технологического уклада освоения (формирования) подземного пространства на базе опережающего развития новых подходов в строительной геотехнологии и геотехнике (рисунок 17).



**Рисунок 17 – Численная реализация модели построения поверхностных характеристик с изолиниями равных расстояний**

**Условные обозначения:** ③ - оптимальная точка примыкания к существующей железнодорожной магистрали, — - оптимальная трасса подъездного пути, — - контуры участка «Серафимовский», ~~~~~ - изолинии равных расстояний

**Разработать дискретно-стохастические динамические модели взаимодействия в сложных горно-геологических условиях известных автоматизированных и роботизированных горных машин на основе теории массового обслуживания**



Разработана универсальная дискретно-стохастическая динамическая модель в виде сети многофазных многоканальных систем массового обслуживания, отображающая взаимодействие автоматизированных и роботизированных горных машин с человеко-машинным управлением при разработке запасов месторождений угля открытым и подземным способами. Модель позволяет исследовать влияние соотношения долей дистанционного и автоматического управления, количества операторов и управляемых ими горных машин на производительность забоев, степень использования операторов и простои машин при человеко-машинном управлении, а также устанавливать эффективное сочетание количества операторов и управляемых ими горных машин, автоматизированных и роботизированных на разных уровнях (рисунок 18).

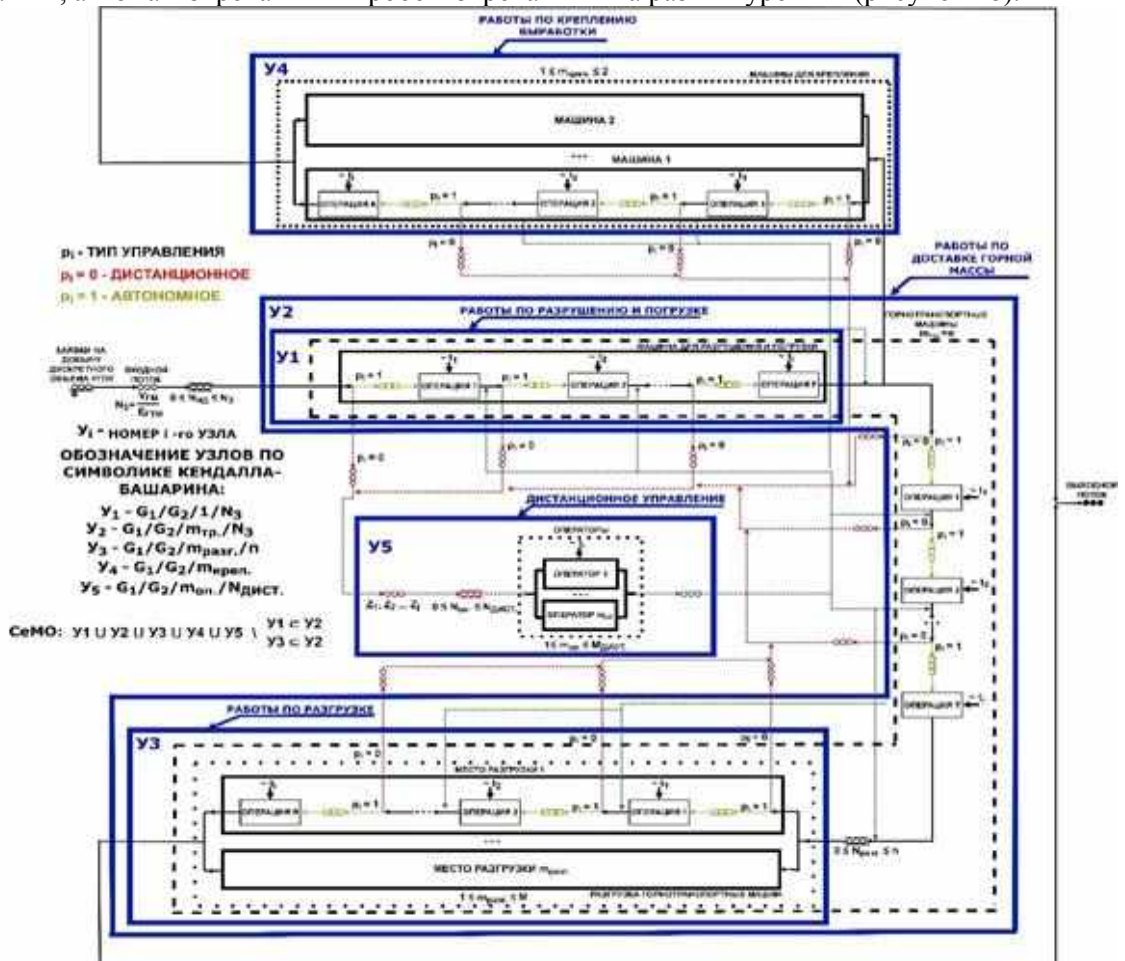


Рисунок 18 – Универсальная дискретно-стохастическая динамическая модель взаимодействия автоматизированных горных машин при человеко-машинном управлении в виде СемО

**Способ и программно-аппаратная реализация взаимодействия между объектами в виртуальной реальности и физическим оборудованием**

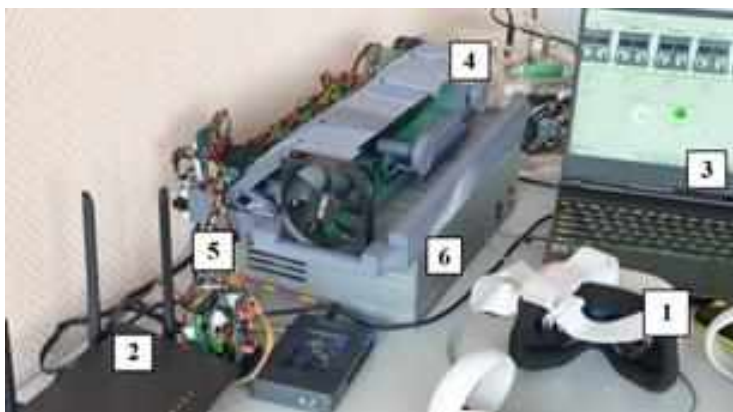
Объектами исследования являлись способ и программно-аппаратная реализация взаимодействия между объектами в виртуальной реальности и физическим оборудованием в виде действующих макетов и технических систем с обратной связью.

Разработан способ взаимодействия между объектами в виртуальной реальности и физическим оборудованием в модуле имитации производственного процесса («термобокс», «шагающая крепь», «очистной комплекс») (рисунок 19).

Разработано программное обеспечение, пользовательский интерфейс виртуальной комнаты управления; собран, протестирован, отлажен прототип системы визуализации данных и процессов управления производством в виртуальной реальности, в прототип интегрированы модули обеспечения электропитанием и имитации производственного процесса, разработан алгоритм подключения виртуального коппита к производственной SCADA системе (рисунок 20).



**Рисунок 19 – Схема аппаратного взаимодействия элементов управления оборудованием из виртуальной реальности**



**Рисунок 20 – Аппаратная часть системы управления где: 1 – гарнитура, 2 – роутер, 3 – компьютер, 4 – модуль имитации производственного процесса «очистной комплекс», 5 – соединительные кабели, 6 – модуль обеспечения электропитанием**

По результатам испытаний прототипа и тестирования программного обеспечения возможно применение полученных результатов в исследовательских, образовательных и коммерческих целях на объектах инфраструктуры образования и промышленных предприятиях.

Значимость работы состоит в создании на основе иммерсионных технологий программно-технических решений, способствующих цифровой трансформации горнодобывающей отрасли и созданию высокотехнологичных рабочих мест.

1. *Никитенко, М.С., Кизилов, С.А., Худоногов, Д.Ю., Верховцев, Д.О., & Корец, Д.М.* (2021). Способ управления физическим объектом из виртуальной среды. In Системы автоматизации (в образовании, науке и производстве): AS'2021 (С. 59-63).

**2.6. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
НАУКИ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР  
«ЯКУТСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК»  
ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА СЕВЕРА ИМ. Н.В. ЧЕРСКОГО СО РАН  
(ИГДС СО РАН)**

**Геомеханика**

Проведены экспериментальные исследования влияния условий водонасыщения на статические упругие свойства (модуль упругости, коэффициент Пуассона) образцов доломита и известняка, представляющих вмещающие карбонатные породы на месторождении алмазов трубки «Ботуобинская». Сделан вывод о том, что на упругие свойства материала оказывает влияние не только количество содержащейся в нём влаги (рисунок 1а), но и характер её распределения в поровом пространстве материала (рисунок 1б), что имеет важное значение для прогнозирования состояния породного массива. Отмечено аномальное поведение упругих свойств исследованных карбонатных пород, свидетельствующее о происходящих в породах разнонаправленных физических процессах, связанных с присутствием влаги в образце. Для установления полной картины происходящих в горных породах физических процессов необходимо проведение дополнительных исследований на возможно большем количестве образцов.

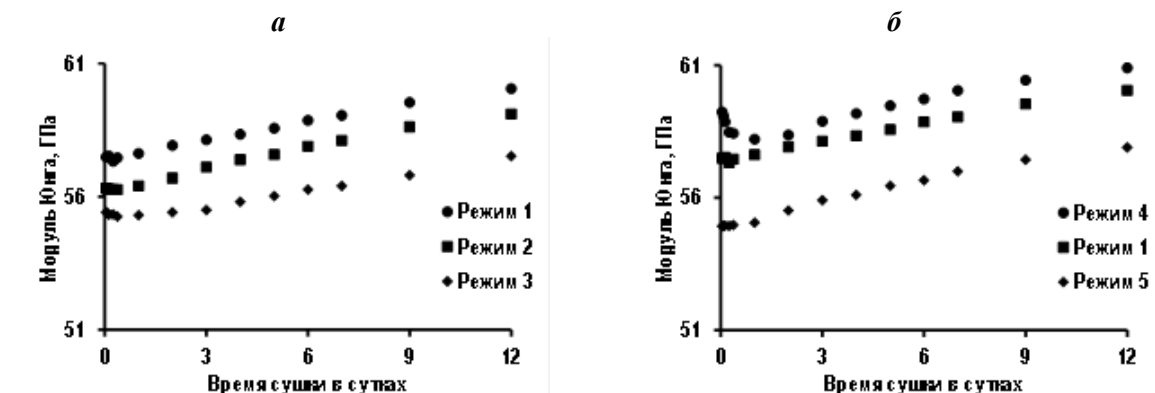


Рисунок 1- Зависимости модуля Юнга образца доломита от времени сушки

Режимы водонасыщения

1	Замачивание в течение 3 часов + выдержка в течение 2 суток и 21 часа
2	Замачивание в течение 9 часов + выдержка в течение 2 суток и 15 часов
3	Замачивание в течение 3 суток
4	Замачивание в течение 3 часов
5	Замачивание в течение 3 часов + выдержка в течение 6 суток и 21 часа

Горная теплофизика

Установлены закономерности изменения предела прочности на сжатие образцов льдопородной закладки в зависимости от содержания полипропиленовой фибры диаметром 10÷15 мкм. Показано, что в диапазоне от 0 до 8,7 кг/м<sup>3</sup> ( $\mu=0\div1\%$ ) находится оптимальное содержание фибры для льдопородной закладки из дробленного алевролита с золотиносного месторождения «Бадран». Наибольшее увеличение прочности на 38% с 8,7 до 12 МПа достигается при содержании фибры в количестве 4,35 кг/м<sup>3</sup> ( $\mu=0,5\%$ ) (рисунок 2).

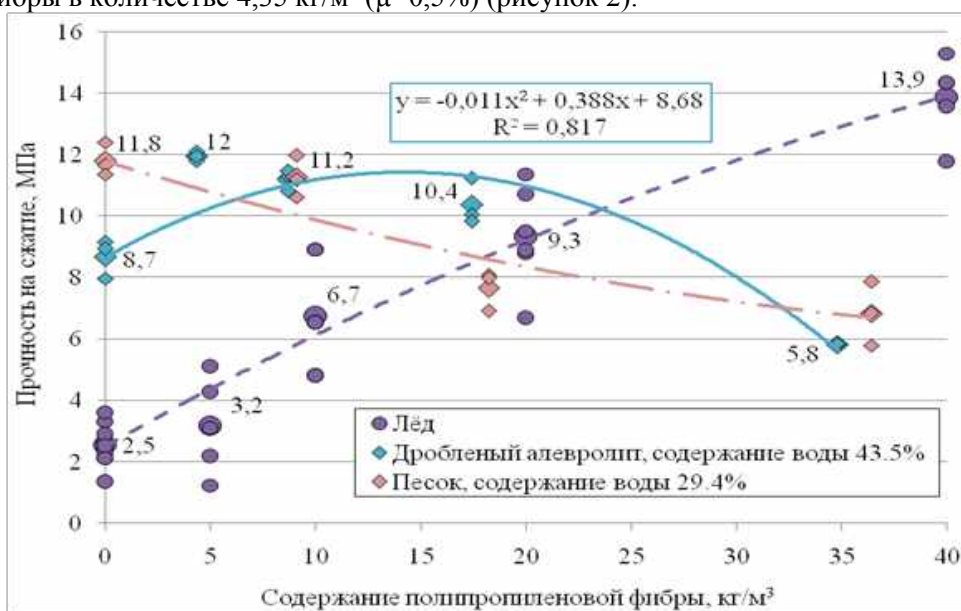


Рисунок 2 - Прочность образцов микроармированного льда и льдопороды на сжатие при различном содержании коротких волокон

При содержании фибры в диапазоне от 4,35 до 17,4 кг/м<sup>3</sup> ( $\mu=0,5\div2\%$ ) прочность микроармированных льдопородных образцов варьируется в пределах от 12 до 10,4 МПа и превышает контрольную. Прочность оптимального состава из дробленых пород при коэффициенте армирования  $\mu=0,5$  соответствует прочности мелкозернистой льдо-песчаной смеси в 11,8 МПа.

Полученные результаты могут способствовать расширению области применения технологии добычи руды с использованием искусственных опор из льда и льдопородной закладки.

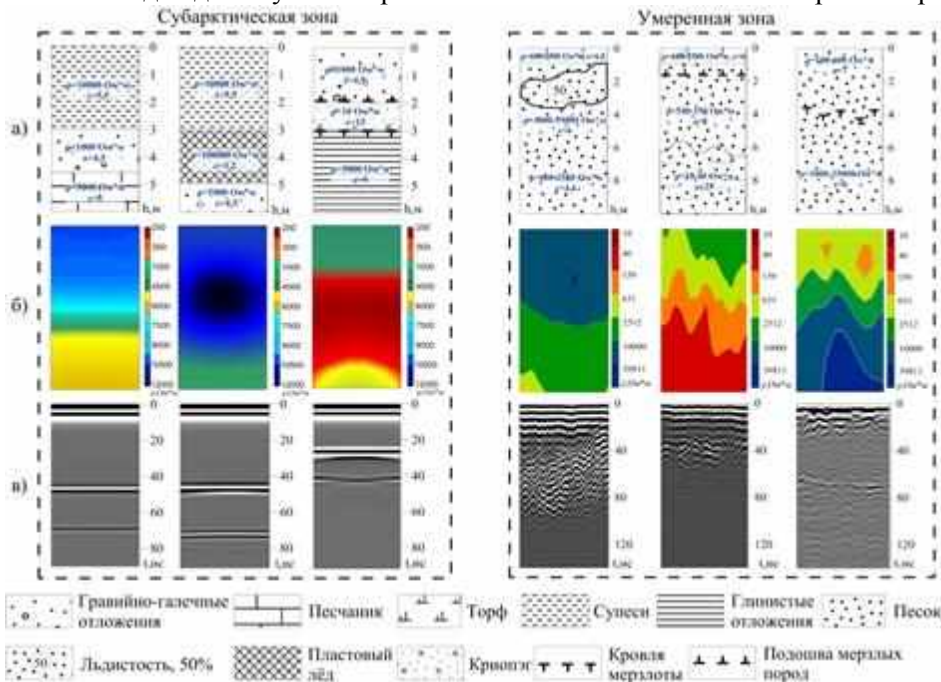
Разработана трехмерная математическая модель, позволяющая спрогнозировать скорость промерзания породной осыпи на дне карьера при ее искусственном замораживании с

учетом влияния температурных условий на поверхности, расположения и взаимовлияния замораживающих колонок, а также способа охлаждения хладоносителя. В результате проведения многовариантных численных расчетов установлены закономерности формирования температурного режима льдородного массива из накопленных водонасыщенных насыпей и время (продолжительность) промерзания пород между замораживающими колонками для различных схем их расположения, а также физических свойств промораживаемого массива, что позволило обосновать рациональную схему размещения замораживающих колонок (гексагональная) и режим работы замораживающей станции, которые обеспечат полное промораживание талых горных пород на дне карьера с минимальными материальными и временными затратами.

- Разработана двухмерная математическая модель теплообмена, фильтрации и влагопереноса в породах уступа карьера криолитозоны, учитывающая теплофизические и влажностные свойства пород, динамики изменения температуры и влажности атмосферного воздуха, показателей осадков в виде снега и дождя, скорости ветра, геометрические размеры уступа, уклон откоса склона, параметры гидро-теплоизоляции бровки, условия эксплуатации. Основанная на математической модели компьютерная программа позволяет сделать долгосрочный прогноз и провести исследование особенностей формирования температурного и влажностного режимов приконтурного горного массива карьеров криолитозоны, в том числе глубоких кимберлитовых. Составлена методика выбора оптимальных параметров тепло- и гидроизоляции уступа с целью обеспечения его устойчивости. Разработанная методика позволяет делать рекомендации по оптимальному регулированию водно-теплового режима уступа карьера криолитозоны и имеет практическую значимость по обеспечению безопасности труда и повышению экономической эффективности применения гидро-теплоизоляции на карьерах криолитозоны.

### Горнопромышленная геофизика

- На основе анализа результатов численного моделирования и натуральных геофизических измерений построены комплексные физико-геологические модели (КФГМ) типичных геокриологических разрезов россыпных месторождений Якутии, отражающие элементы их геологического и криогенного строения, распределение физических свойств горных пород и особенности геоэлектрических полей георадиолокации, электротомографии и бесконтактного измерения электрического поля (рисунок 3). КФГМ обосновывают выбор оптимального комплекса электроразведочных методов для изучения криогенного состояния массивов горных пород.



**Рисунок 3 - Комплексные физико-геологические модели типичных геокриологических разрезов (а) россыпных месторождений Якутии и их отображение на данных, полученных геофизическими методами: б) бесконтактного измерения электрического поля (Субарктическая зона) и электротомографии (Умеренная зона); в) георадиолокации**



## Физико-техническая геотехнология

• Экспериментальными исследованиями на физической модели установлены закономерности изменения показателей извлечения руды из блока, склонной к смерзанию, в зависимости от конструктивного оформления днища блока. Показано, что при увеличении влажности отбитой руды (0-1%) потери от ее смерзания при подготовке днища блока дучками достигают 46%, а траншеями – 22%; при изменении расстояния между выпускными выработками (с 9,0 до 11,0 м) потери руды возрастают от 24 до 42%. Полученный результат имеет важное значение для обоснования оптимального варианта подготовки днища блока при выпуске руды в условиях отрицательных температур очистного пространства рудников криолитозоны.

Эксперименты по донному выпуску руды выполнялись на специально изготовленном стенде с возможностью изменения конструкции днища, в криокамере оснащенной сплит-системой, позволяющей воспроизвести температурные условия подземной разработки месторождений криолитозоны, в соответствии с методикой, разработанной с соблюдением всех требований теории подобия и учетом данных исследований, проведенных ранее.

В результате проведенных исследований установлено, что при температуре  $-5^{\circ}\text{C}$  и увлажнении рудной массы на 1% прирост потерь от рудной массы от смерзания в очистном пространстве составляет для блока с донным выпуском через воронки и дучки 45,8 %, для блока с траншейным выпуском 21,7% (рисунок 4).

Изменение расстояния между выпускными выработками при траншейной конструкции днища блока так же оказывает влияние на показатели извлечения. При сокращении расстояния между выпускными выработками с 11 м до 9 м потери рудной массы от смерзания при выпуске снизились с 24% до 42% (рисунок 5).

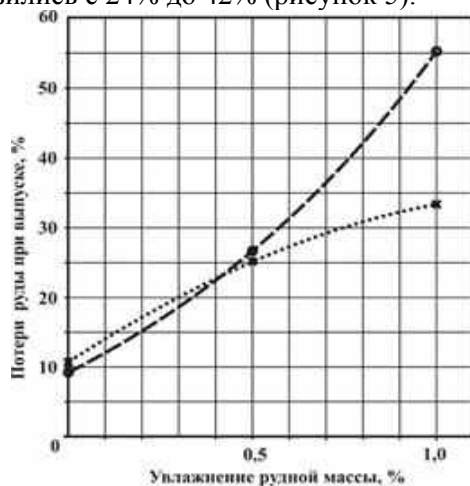


Рисунок 4 - Показатели потерь руды при выпуске вследствие ее смерзания в условиях отрицательных температур очистного пространства и увеличения влажности в зависимости от варианта конструкции днища

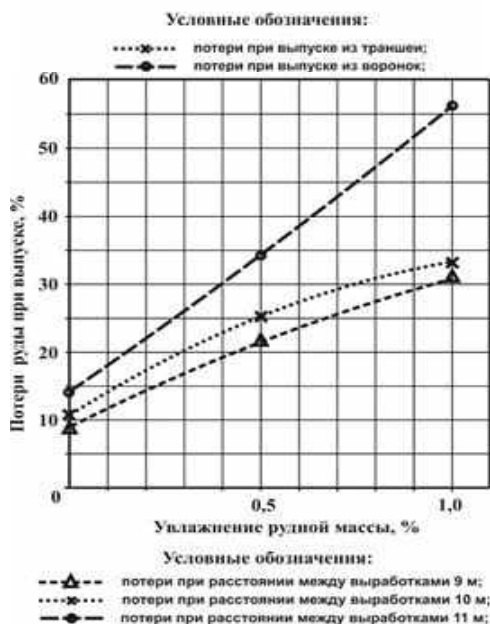


Рисунок 5 - Показатели потерь руды при выпуске вследствие ее смерзания в условиях отрицательных температур очистного пространства и увеличения влажности в зависимости от расстояния между выпускными выработками

- На основе теоретических и экспериментальных исследований, опыта разработки россыпных месторождений криолитозоны разработана и обоснована методология минимизации объемов промываемых песков, которая основана на проведении геометризации продуктивного пласта по содержанию полезного компонента, применении комбинированной переработки песков с гравитационной сортировкой металла в массиве, эффективных технологий и оборудования для добычи песков и извлечения металла с учетом их характеристик, свойств и гранулометрического состава, а также гравитационных и физико-технических методов формирования продуктивных зон в отстойных сооружениях, обеспечивающих наиболее полное извлечение полезного ископаемого при обогащении и переработке песков.

Методология основана на новом сочетании методик и технологий, комплексно решающих проблему минимизации объемов промываемых песков на протяжении всего технологического цикла «разведка - добыча – переработка», позволяющих исключить добычу, транспортировку и переработку некондиционного материала, достичь наиболее полного извлечения ценного компонента, сократить объемы обогащения песков по присутствию золотосодержащего класса.

- Проведено научное обоснование условий применения способов разработки вскрышных пород россыпных месторождений криолитозоны (бульдозерного, комбинированного экскаваторного, комбинированного с погрузчиком) по критерию энергоемкости в зависимости от температуры, мощности вскрышных пород, а также ширины россыпи. Показано, что разработку мерзлых пород, при температуре до  $-15^{\circ}\text{C}$ , мощности до 20 м и ширине россыпи 50–200 м, энергоэффективнее производить комбинированным экскаваторным способом с предварительной подготовкой их к выемке буровзрывным способом. Для россыпей, шириной 50–150 м, наименьшей энергоемкостью обладает бестранспортная разработка, с применением шагающих экскаваторов. Наибольшей энергоемкостью обладает бульдозерная разработка с предварительным механическим рыхлением (рисунок 6).



**Рисунок 6 - Средняя энергоемкость вскрышных работ бульдозерным, комбинированными способами в зависимости от температуры разрабатываемых горных пород**

- Экспериментальными исследованиями изменения свойств бурого угля Кангаласского месторождения при различных по длительности сроках его хранения установлено, что хранение навалом на открытой площадке ведёт к увеличению выхода мелких классов (0–10 мм), практически не участвующих в горении в печах со слоевым сжиганием, до 20–30%, а в пропиленовых мешках, при отрицательных температурах, на открытой площадке и под навесом с естественным проветриванием, рост выхода мелких классов крупности существенно ниже и находится в пределах, соответственно, 0,1–1,7%, 1,0–2,6% и 3,1–6,9% (таблица). Таким образом, для снижения потерь качества и количества угля на этапах его добычи, хранения, доставки и потребления в удаленных районах Крайнего Севера необходимо использовать полипропиленовую тару и теплоизолирующие укрытия.



**Доля мелких классов (0–10 мм) в угле при различных условиях и сроках хранения<sup>1</sup>**

Показатели	2 мес.	4 мес.	6 мес.	8 мес.	10 мес.
Хранение на открытой площадке					
Уголь рядовой навалом	21,6	18,6	22,3	20,7	21,9
Уголь рядовой (без класса –10 мм) навалом	22,7	27,5	28,3	30,0	30,3
Уголь рядовой (без класса –10 мм) в мешках	1,4	1,8	1,7	2,6	1,9
Хранение под навесом с естественным проветриванием					
Уголь рядовой навалом	5,9	6,9	6,7	4,6	3,1
Уголь рядовой (без класса –10 мм) навалом	3,7	4,2	3,9	3,5	4,4
Уголь рядовой (без класса –10 мм) в мешках	1,3	1,0	1,8	3,3	2,4
Хранение в криолитозоне при $t_{cp.} -10$ до $-5^{\circ}C$ (шахта Института мерзлотоведения СО РАН)					
Уголь рядовой навалом	1,7	0,2	1,6	0,5	0,4
Уголь рядовой в полипропиленовых мешках	0,1	0,6	0,2	0,6	0,4

<sup>1</sup> в столбцах указаны отдельные штабели угля, после каждого эксперимента брались новые штабели

**Обогащение полезных ископаемых**

- Экспериментальными исследованиями на лабораторной модели вертикального центробежного измельчителя конструкции ИГДС СО РАН установлены зависимости эффективности измельчения (по выходу контрольного класса  $-0,071$  мм) рудных материалов разной твёрдости по шкале Мооса от угла разгрузки измельченного материала и частоты вращения рабочего органа измельчителя. На основе полученных зависимостей определены рациональные конструктивные и режимные параметры вертикального измельчителя для рудных материалов разной твердости по шкале Мооса (зазор между рабочими органами 3 мм; угол разгрузки для материалов низкой твердости - 130 град. при частоте оборотов вращения рабочего органа 550-750 об/мин; средней твёрдости - 150 град. при 980-1220 об/мин; высокой твёрдости - 150 град. при 1350-1500 об/мин). Разработан проект с полным пакетом рабочей документации на изготовление опытно-промышленного варианта вертикального центробежного измельчителя ВЦИ-12 с проектной производительностью до 12 т/ч.

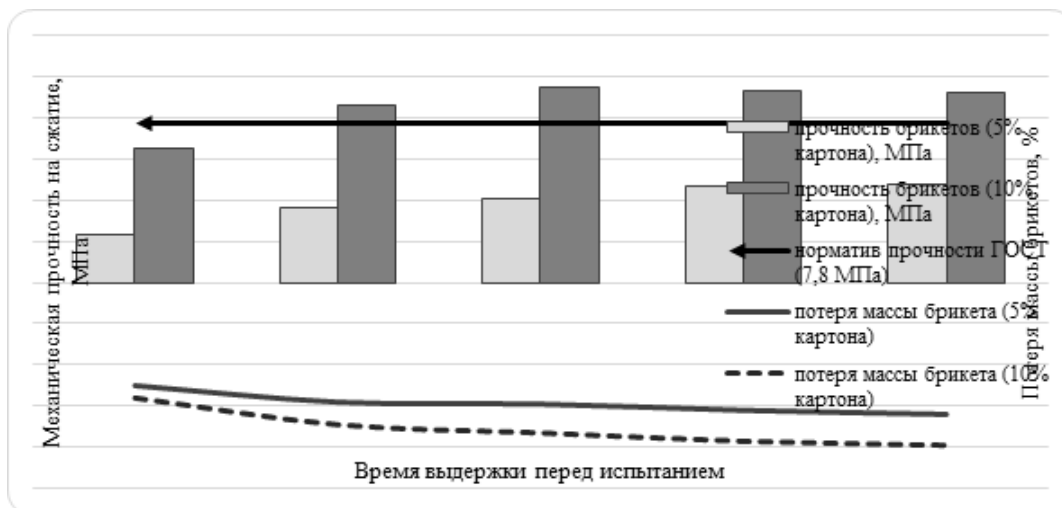
- Экспериментальными лабораторными исследованиями установлены зависимости явления гидрофобизации минеральных поверхностей от циклов промораживания и оттаивания материалов с разным содержанием мелкодисперсных фракций. В пределах до 4 циклов замораживания (при температуре 253К) и последующей оттайки (при температуре 293К) образцов, гидрофобность песков увеличивается и характеризуется повышением выхода пенного продукта при флотации без реагентов-собирателей с 11% до 21% без пенообразователя и с 20% до 35% с пенообразователем. Установлено, что эффект гидрофобизации зависит от крупности материала, при повышении доли глинистых включений  $-0,020$  мм в исходном материале от 60% до 70% выход пенного продукта возрастает с 21% до 31% при двух циклах промораживания и оттаивания.

Установлены закономерности явления гидрофобизации песков с разным содержанием мелкодисперсных фракций от циклов промораживания и оттаивания материалов. Полученные результаты исследований могут быть учтены при промывке песков в промывочных аппаратах, а также при разработке рекомендаций к эффективной дезинтеграции глинистых песков.

**Физико-химическая геотехнология**

- В результате экспериментальных исследований процесса брикетирования углей Южно-Якутского бассейна разработан способ брикетирования каменных углей, заключающийся в смешивании сырья с картоном, предварительно измельченным и размоченным в воде, брикетировании полученной смеси без нагрева при удельном давлении 78 МПа и последующей выдержке брикетов в течение 3-5 суток в условиях комнатной температуры для потери избыточной влажности и набора максимальной механической прочности брикета на сжатие, которая для брикетов с содержанием картона в количестве 10% на сухую массу угля достигает 9,5 МПа, что превышает требования ГОСТ (рисунок 7).

В результате экспериментальных исследований разработан новый способ брикетирования углей, позволяющий снизить потери и вернуть в промышленное производство мелкие классы ценных марок каменных углей Южно-Якутского угольного бассейна.



**Рисунок 7 - Качественные характеристики брикетов из каменного угля со связующим на основе картона**

### **Информация о научно-организационных мероприятиях**

Сотрудники Института приняли участие в работе II выездного научного заседания «Научно-технологическое обеспечение стратегического развития Арктической зоны Российской Федерации» и в выставке научных достижений 30 ноября 2022 года, в г. Якутске.

### **Публикации Института:**

Всего публикаций - 72 (из них 6 в WoS и 12 в Scopus), в том числе: глава в монографии, 3 патента РФ на изобретение и 5 программ для ЭВМ, 47 статей в журналах, 16 статей и докладов в материалах конференций

## **2.7. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ, ЭКОЛОГИИ И КРИОЛОГИИ СО РАН**

Работы выполнены в рамках темы № FUFRR-2021-0005 «Изучение геосистем горнопромышленных территорий с благороднометалльным оруденением Забайкалья с целью прогноза гипогенного и гипергенно-техногенного минерального сырья, и оценки влияния на окружающую среду», выполненного лабораторией геохимии и рудогенеза.

Руководитель темы д.г.-м.н., профессор **Г.А. Юргенсон**.

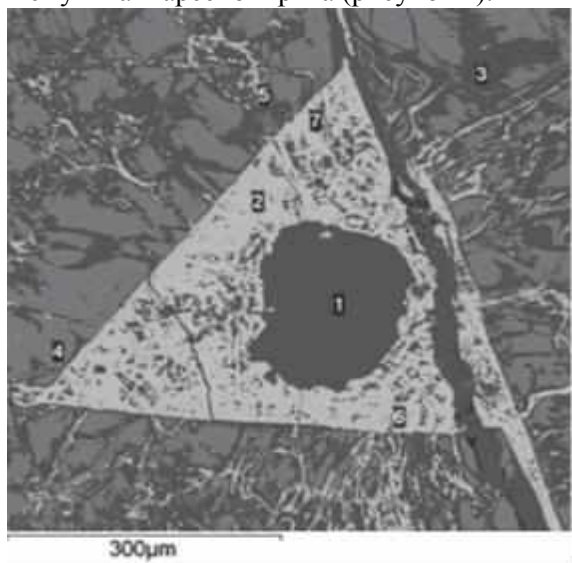
1. Впервые на основе минералогического картирования на примере уникального Балейского рудного поля малоглубинной золотосеребряной формации выявлено широкое развитие теллуридов, их минеральные ассоциации, закономерное изменение содержания теллура (0,13–421 г/т) по вертикали с максимумом на вертикальном интервале промышленного золотосеребряного оруденения. Результаты изучения теллуридов в Балейском рудном поле дают основание для совместного извлечения теллура, золота и серебра в процессе добычи оставшихся 140 т запасов золота и необходимости разработки соответствующей физико-химической технологии.

2. В содружестве со специалистами Забайкальского государственного университета (д.т.н. Л.В. Шумилова, д.т.н. А.Н. Хатькова) изучен вещественный состав отходов обогатительных фабрик бывших Шерловогорского и Хапчерангинского ГОКов и предложена физико-химическая технология извлечения из них цветных и редких металлов.

Минералогический анализ руд и лежалых хвостов обогащения осуществлялся с помощью комплекса физических, химических и физико-химических методов с использованием современного инструментария: оптической и электронной микроскопии (с использованием растрового электронного микроскопа LEO EVO 40HV с энергодисперсионным спектрометром INCA Energy 350), спектрохимического и эмиссионного спектрального анализа, рентгенофлуоресцентного анализа. Также применялись масс-спектрометрический с ионизацией в индуктивно связанной плазме и атомно-абсорбционные методы.

Установлено, что основными минеральными формами серебра в рудах являются галенит и, частично, сфалерит, йодаргирит, мышьяка – арсенипирит и скородит, частично – сфалерит,

сурьмы – галенит, блеклые руды. Обычными носителями висмута являются – висмутин, самородный висмут и бисмутит, а также галенит. В рудах Шерловогорского месторождения и отходах их обогащения впервые установлен рузвельтит  $\text{BiAsO}_4$ , развивающийся в зонах контакта висмутина и арсенопирита (рисунок 1).



**Рисунок 1 - Рузвельтит во фрагменте окисленной руды в песчаной фракции (электронно-микроскопический снимок):**  
**1 – скородит (до 9,47% Cu), 2, 5 – 7 – рузвельтит, 3 – скородит с 0,48% Sb, 4 – арсенопирит**

Свинец связан с галенитом, церусситом, англезитом, бедантитом  $(\text{PbH}_3\text{O})\text{Fe}_3^{3+}(\text{AsO}_4)(\text{OH})_6$ , коркитом  $\text{PbFe}_3[(\text{OH})_6\text{SO}_4\text{PO}_4]$ , пироморфитом,  $\text{Pb}_5\text{Cl}(\text{PO}_4)_3$ , плюмбозинитом  $\text{PbFe}_6(\text{OH})_{12}(\text{SO}_4)_3$ . Цинк связан не только со сфалеритом, но и адамитом  $\text{Zn}_2\text{AsO}_4(\text{OH})(\text{Co},\text{Fe})$ , многими сульфатами, каламином. Часть олова, кроме касситерита и станнина, находится в сфалерите и галените, индий связан со сфалеритом и не извлеченным касситеритом, кадмий – исключительно со сфалеритом, медь с халькопиритом, халькозином и сфалеритом. Весь бериллий и часть скандия связаны с бериллом.

Из рассматриваемых химических элементов наибольшим содержанием для хвостохранилища Хапчерангинского ГОКа характеризуется кадмий, а для лежалых хвостов Шерловогорского ГОКа – кадмий, висмут, скандий, индий, ниобий и бериллий.

Выполнена оценка массы отходов и содержаний в них химических элементов, а также их запасов в хвостохранилищах (таблица 1).

Таблица 1

**Оценка запасов редких металлов в хвостохранилищах обогатительных фабрик, перерабатывавших руды оловополиметаллических месторождений Восточного Забайкалья**

Месторождение, хвостохранилище	Отходы, тыс. т	Элемент и его запасы, т							
		Bi	Cd	Sc	In	Be	Li	Nb	Ta
Хапчерангинское	6201	17,4	172,4	218,9	11,2	Н.д.	246,3	4,3	1,4
Шерловогорское	17618	396,4	192,1	2079	67,	188,6	704,8	564,1	52,9
Сумма	23819	413,8	364,5	2297,9	78,2	188,6	951,1	568,4	54,3

Анализ данных показывает, что максимальными запасами висмута, кадмия, скандия, индия, бериллия и ниобия обладает хвостохранилище Шерловогорского ГОКа.

Кроме редких элементов в хвостах обогащения руд рассматриваемых месторождений присутствуют полезные компоненты, обеспечивающие комплексность этих геотехногенных руд и существенно увеличивающие эколого-экономическую целесообразность их переработки.

В таблице 2 дана оценка содержаний и запасов попутных химических элементов. Анализ этих данных свидетельствует о значительных запасах свинца, цинка и олова в отходах обогащения руд Шерловогорского месторождения и меньших – Хапчерангинского. Отходы Шерловой Горы содержат также и серебро, запасы которого при среднем содержании 7,8 г/т составляют 137,4 т. Все рассматриваемые полезные компоненты, находящиеся в отходах обогатительных фабрик, связаны с определенными минеральными ассоциациями, извлечение которых возможно с использованием единой комплексной технологии.

**Оценка запасов сопутствующих полезных компонентов в хвостохранилищах обогатительных фабрик, перерабатывавших руды оловополиметаллических месторождений Восточного Забайкалья**

Месторождение, хвостохранилище	Отходы, тыс. т	Элемент; его содержание, %;				Запасы, тыс. т			
		Pb	Zn	Sn	W	Pb	Zn	Sn	W
Хапчерангинское	6201	0,133	0,321	0,044	0,002	8,25	19,9	2,73	0,24
Шерловогорское	17618	0,26	0,410	0,058	0,001	45,8	72,2	10,2	1,8

Анализ всех полученных новых данных о составе отходов обогатительных фабрик рассматриваемых предприятий свидетельствует о том, что мы имеем дело с новыми геотехногенными месторождениями, формирующимися на протяжении многолетней истории горнодобывающей промышленности Восточного Забайкалья.

В результате рассмотрения горнопромышленных территорий, как геосистем с особыми геохимическими свойствами, выполнена их геохимическая типизация и определена их геохимическая унаследованность от рудноформационного типа отрабатываемых месторождений и установлено, что среди рассматриваемых горнопромышленных объектов наибольшую экологическую опасность представляют отходы переработки оловополиметаллических руд, ландшафтные системы территорий которых отличаются высоким содержанием мышьяка, свинца, кадмия, цинка.

Ландшафты Хапчерангинского и Шерловогорского месторождений относятся к наиболее опасному кадмий-олово-сурьмяно-висмут-мышьяково-свинцово-цинковому геохимическому типу. Отсюда следует, что в первую очередь для улучшения экологической обстановки и получения наиболее ценных индия, скандия и бериллия целесообразно разработать технологию извлечения этих элементов, а попутно с ними – висмута и кадмия. Как сказано выше, индий и скандий связаны с касситеритом, часть индия и кадмий находятся в сфалерите, а висмут находится в галените. Все эти элементы остались в отходах передела с использованием комбинированного гравитационно-флотационного способа в связи с нахождением в тонких сростках или в виде изоморфных примесей в обогатительном процессе, которые не были извлечены с применением этого способа.

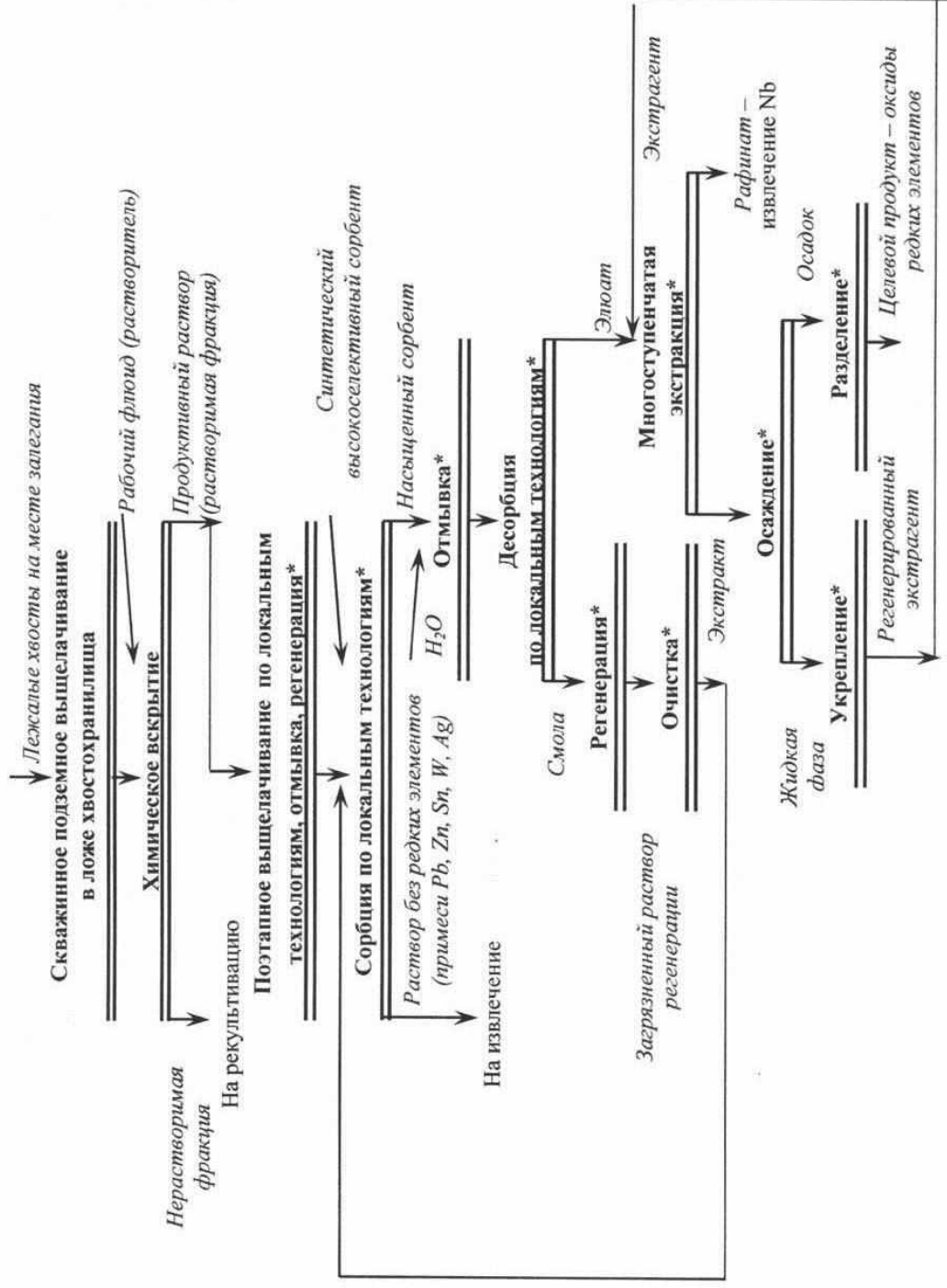
С учетом комплексности новых геотехногенных месторождений и необходимости полного извлечения всех полезных компонентов при разработке технологии их извлечения при разработке технологии учтены исследования, проведенные рядом отечественных и зарубежных учёных, рассматривающих как физико-химические технологии скважинного подземного выщелачивания, так и физико-химические процессы, применяемые на стационарных горноперерабатывающих предприятиях. Разнообразие редких элементов в исследуемом техногенном сырье (Bi, Cd, Sc, In, Be, Li, Nb, Ta,), а также наличие цветных металлов (Pb, Zn, Sn, W), определили необходимость создания комбинированной схемы, основные элементы которой могли быть положены в основу локальных технологий.

На рисунке 2 представлена разработанная авторами комбинированная технология извлечения редких и цветных металлов из техногенных отходов хвостохранилищ обогатительных фабрик, перерабатывавших руды оловополиметаллических месторождений Восточного Забайкалья.

Базисом комбинированной технологии является инновационная экологоэкономическая («зеленая») геотехнология XXI века – скважинное подземное выщелачивание.

Из многочисленных методов очистки и извлечения ионов редких металлов из продуктивных растворов скважинного подземного выщелачивания предлагается использовать экологически чистые методы сорбции и экстракции.

Эти технологические приемы разделения близких по свойствам металлов при малых капитальных расходах и рациональном выборе сорбентов или ионообменных смол, позволят с высокой степенью извлекать комплекс редких элементов и получить их высокочистые (99,99%) соединения. Включение сорбционных методов в комбинированную технологию также объясняется последними достижениями мировых разработчиков смол в области синтеза высокоселективных сорбентов (Великобритания, Германия и др.), в том числе ионитов с регулируемой на стадии синтеза пористостью сорбентов. Расширение ассортимента смол позволяет существенно облегчить создание принципиально новой промышленной технологии с применением выпускаемых сорбентов.



Примечание\*: Bi, Cd, Sc, In, Be, Li, Nb

Рисунок 2 - Комбинированная технология извлечения редких и цветных металлов из техногенных отходов хвостохранилищ (Восточное Забайкалье)

Применение непрерывной экстракции, которую можно осуществлять в многоступенчатых аппаратах (экстракторах) при противотоке исходного раствора и экстрагента, позволит получить заданную степень экстракции, снизить расход экстрагента и повысить эффективность процесса разделения.

### **Выводы**

1. Результаты изучения вещественного состава оловополиметаллических руд Хапчерангинского и Шерловогорского месторождений (Восточное Забайкалье) и техногенных отходов горного производства, оценки массы отходов и содержания в них редких элементов и цветных металлов однозначно свидетельствуют о целесообразности разработки программы переработки техногенных отходов для получения ценнейших химических элементов и решения проблем геозтики.

2. Разработана комбинированная технология извлечения редких элементов из техногенных отходов, обладающая элементами новизны и включающая скважинное подземное выщелачивание, сорбцию и экстракцию по локальным технологиям. Данная технология позволит получать высокочистые соединения редких элементов и повысить экологический уровень хозяйственной деятельности предприятий.

*Работа выполнена в рамках госзадания по теме № FUFР-2021-0005, а также при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках выполнения гранта на проведение фундаментальных научных исследований и поисковых научных исследований в 2022-2023 годах, соглашение номер 22-17-00040.*

### **Список литературы:**

1. **Юргенсон Г.А.** Новые данные о гессите Балейского рудного поля в Восточном Забайкалье (Россия). // Вестник ЗабГУ. - Т.28. - №8. С. DOI: 10.21209/2227-9245-2022-28-10-26-36.

2. **Юргенсон Г.А.** Телуриды в золотосеребряных рудах Балейского рудного поля (Восточное Забайкалье). // Современные направления развития геохимии. Материалы Всероссийской конференции (с участием зарубежных ученых), посвященной 65-летию Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН и 105-летию со дня рождения академика Л.В. Таусона. Иркутск. - 2022. - Т.2. - С. 243–245.

3. **Шумилова Л.В., Юргенсон Г.А., Хатькова А.Н.** Отходы разработки оловополиметаллических месторождений Забайкалья и физико-химическая геотехнология извлечения комплекса редких и цветных металлов». // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2022. - №9. - С.156–168. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2022\_9\_0\_156.

## **2.8. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА УРО РАН**

**Направление: Комплексная, технологически эффективная и экологически безопасная добыча, обогащение и глубокая переработка минерального сырья, безопасность горного производства**

1. В качестве методологических основ стратегии комплексного освоения запасов месторождений полезных ископаемых в динамике развития горнотехнических систем обоснованы: параметры устойчивости уступов и бортов карьеров с учетом сейсмического воздействия взрывных работ, рациональные конструкции комбинированной системы разработки бедных комплексных руд, параметры буро-взрывных работ на основе измерения энергетических, детонационных характеристик эмульсионных взрывчатых веществ и экспресс-определения прочностных свойств горных пород, методы оценки сырьевой базы рудных месторождений и комплексного управления качеством минерального сырья в рудных потоках с использованием большегрузного карьерного автотранспорта, модель принятия решений по управлению риском в развитии системы безопасности горных работ.

**Яковлев В.Л.** Основные этапы и результаты исследований по разработке методологических основ стратегии развития горнотехнических систем при освоении глубокозалегающих месторождений твердых полезных ископаемых. // Горная промышленность. - 2022. - № S1. - С. 34-45. DOI: 10.30686/1609-9192-2022-1S-34-45.

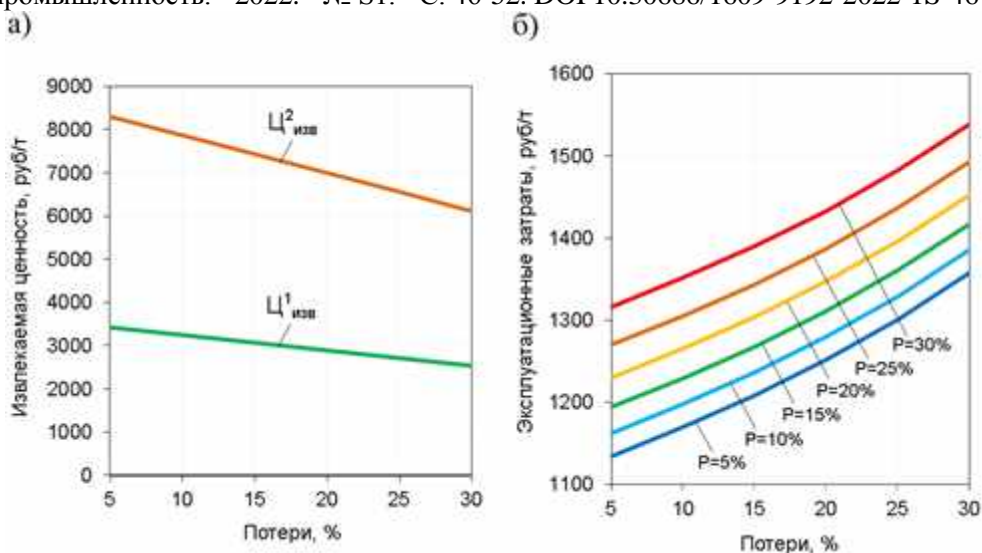




**Рисунок 1 - Взаимосвязи технологических процессов горнотехнических систем**

2. Предложена систематизация основных факторов, влияющих на эффективность подземной разработки пологих месторождений бедных комплексных руд, по условию иерархической соподчиненности в алгоритме расчета технико-экономических показателей и установлено влияние наиболее значимых факторов – потерь и разубоживания – на извлекаемую ценность и эксплуатационные затраты на добычу руды. Разработаны рациональные варианты комбинированной системы разработки, основанные на сочетании этажно-камерной системы и системы этажного обрушения, обеспечивающие улучшение показателей извлечения руды (в 1,5-2,5 раза), уменьшение эксплуатационных затрат на добычу (на 20%), увеличение производственной мощности рудника (в 1,5-2,0 раза).

*Антипин Ю.Г., Барановский К.В., Рожков А.А. и др.* Исследование влияния показателей извлечения на эффективность подземной отработки месторождений бедных комплексных руд. // Горная промышленность. - 2022. - № S1. - С. 46-52. DOI 10.30686/1609-9192-2022-1S-46-52.



**Рисунок 2 – Зависимости извлекаемой ценности (а) и эксплуатационных затрат на добычу (б) от величин потерь и разубоживания руды**

3. Разработан алгоритм обоснования параметров уступов и участков бортов карьеров в тектонически напряженных массивах горных пород, основанный на расчетной оценке их устойчивости по результатам мониторинга подвижности прибортовых массивов, ориентировки трещин относительно простирания уступа, прочностных свойств заполнителя и характеристик поверхностей трещин, выявления индикаторов тектонических сдвижений, оценки уровня и направления действия тектонических напряжений и их влияния на устойчивость. Установлено, что степень трещиноватости массива в зонах, которые недоступны для картирования структурного строения, определяется скоростью бурения взрывных скважин.

*Яковлев А.В., Шимкив Е.С., Переход Т.М.* Исследование процесса бурения технологических скважин на карьерах АО «ЕВРАЗ КГОК» станками пневмоударного бурения. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 5. – С. 121–130. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2022\_5\_0\_121.

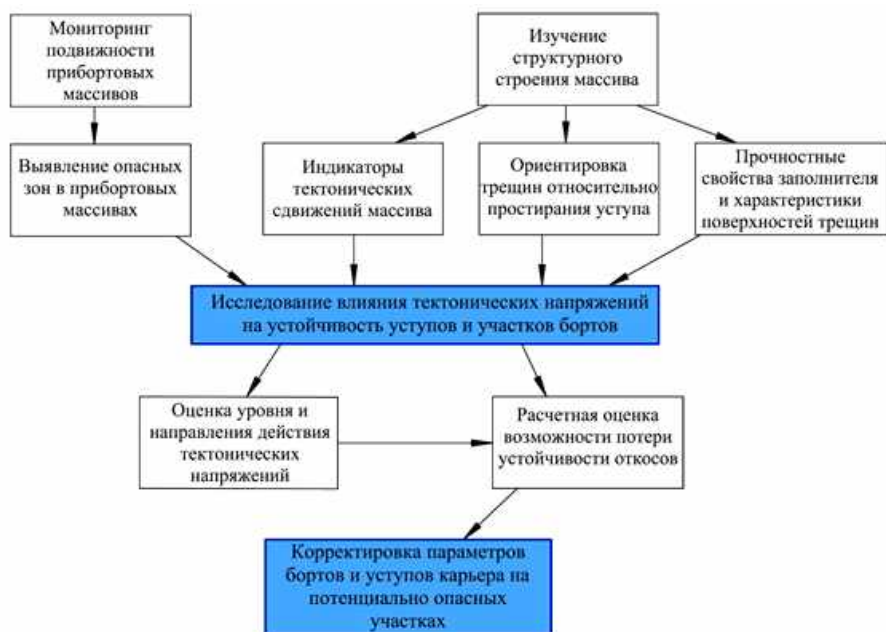


Рисунок 3 - Алгоритм обоснования параметров уступов и участков бортов в тектонически напряженных массивах горных пород

4. На основе аналитических исследований и систематизации методов оценки сырьевой базы рудных месторождений в увязке с эффективными способами ее комплексного освоения в режиме управления качеством рудоподготовки обоснованы критерии оценки эффективности технологий управления качеством минерального сырья. Разработаны алгоритмы и структурные блок-схемы по оценке эффективности технологий управления качеством сырья, в т.ч. по оценке снижения колебаний качества руды в рудных потоках и перегрузочных пунктах и их влияния на показатели обогащения.

Кантемиров В.Д., Яковлев А.М., Титов Р.С. и др. Совершенствование методов рудоподготовки минерального сырья при освоении сложноструктурных месторождений. // Горная промышленность. - 2022. – № S1. – С. 63 – 70. DOI: 10.30686/1609-9192-2022-1S-63-70.

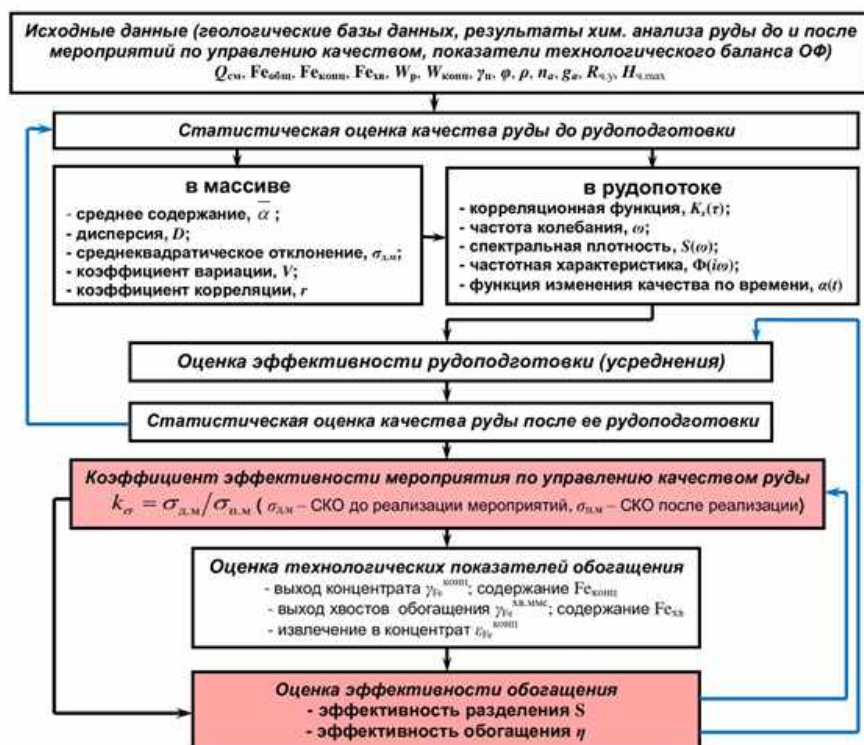
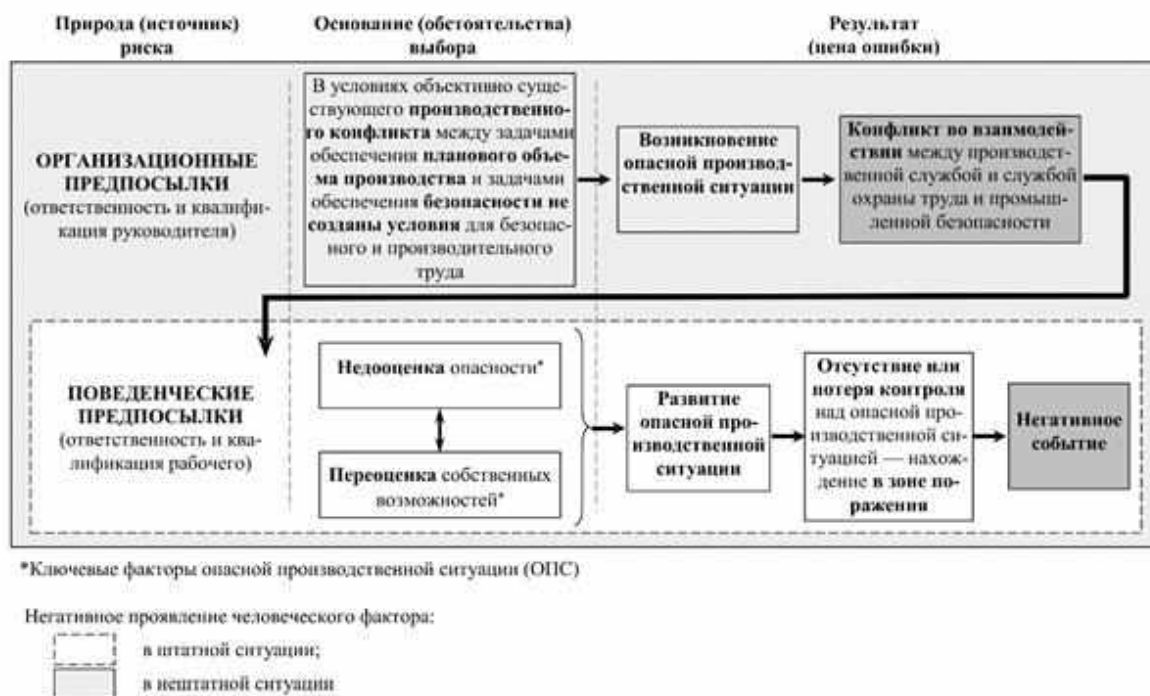


Рисунок 4 - Алгоритм оценки эффективности управления качеством рудного сырья

5. Установлена закономерность управления риском при обеспечении безопасности горных работ, которая состоит в том, что по мере развития горнотехнической системы и увеличения скорости изменений возрастают частота принятия решений и значимость рисков организационной и поведенческой природы, то есть растет цена ошибки в решениях и действиях работников на всех уровнях иерархии управления. Сформирована логическая модель принятия неадекватного решения по управлению риском, обусловленным организационной и поведенческой природой. Эта модель создала предпосылки для разработки модели принятия решений по управлению рисками в развитие системы обеспечения безопасности горных работ.

*Галкина Н.В., Кравчук И.Л., Смолин А.В. и др. Подход к экономической оценке производственного риска на горнодобывающем предприятии. // Известия УГГУ. – 2022. – № 4(68). – С. 151-158. – DOI: 10.21440/2307-2091-2022-4-151-158.*



**Рисунок 5 - Логическая модель принятия неадекватного решения по управлению риском организационной и поведенческой природы**

6. Разработана методика и комплекс аппаратуры для экспериментального определения показателей функционирования карьерных автосамосвалов при движении по технологическим автодорогам в рамках рабочего цикла во взаимосвязи с внешними условиями (параметры и состояние автодорог, климатические факторы), позволяющие формировать базу данных для разработки математической модели работы карьерного автотранспорта.

*Журавлев А.Г., Семенкин А.В., Черепанов В.А. и др. Задачи развития перспективных циклично-поточных технологий для глубоких карьеров. // Горная промышленность. – 2022. – №S1. – С.53-62. DOI 10.30686/1609-9192-2022-1S-53-62.*

7. Разработана методика измерения энергетических, детонационных характеристик эмульсионных ВВ и экспресс-определения прочностных свойств горных пород для комплексной адаптации параметров БВР к изменяющимся горно-геологическим условиям. Методика измерения позволяет: установить параметры записываемых сигналов при бурении, характеризующих нарушения в массиве в местах контактов пород с различными физико-механическими свойствами; определить в рамках полигонных испытаний закономерности развития детонации в гильзовых зарядах разного диаметра при использовании промежуточных детонаторов с различной массой; установить закономерности протекания детонации при встречном инициировании. Методика обеспечивает получение информации необходимой для начала процесса адаптации параметров БВР к изменяющимся условиям.

*Жариков С.Н., Кутуев В.А. О свойствах объекта разрушения и параметрах взрывной отбойки на карьерах // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2022. – №3. – С. 283-289. DOI: 10.25635/06455-6861-0824-g.*

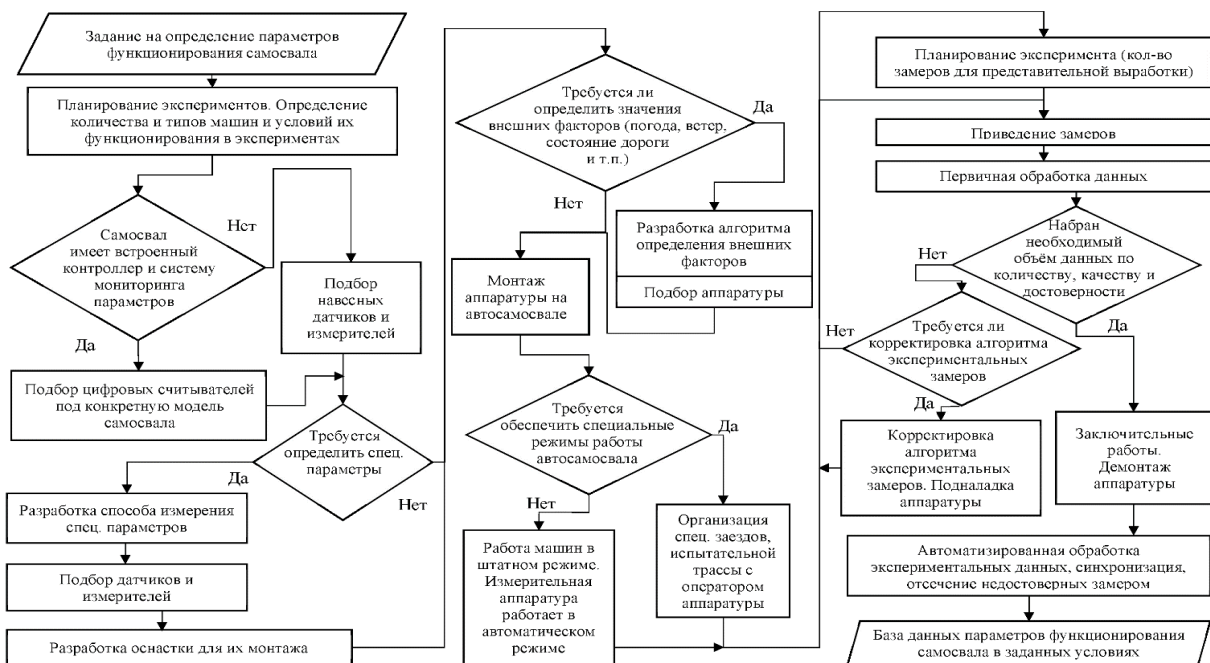


Рисунок 6 – Блок-схема разработанной методики экспериментального определения показателей функционирования карьерных автосамосвалов

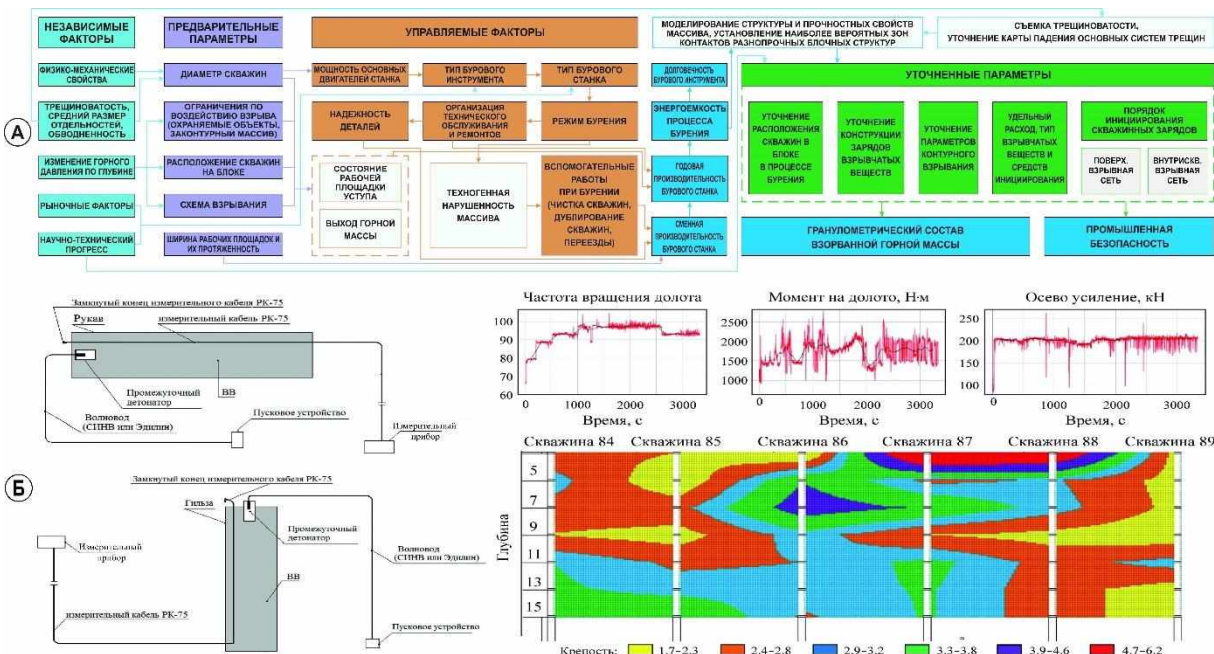


Рисунок 7 - Систематизация факторов, предопределяющих необходимость технологических изменений в буровзрывном переделе (А), и схемы к методике измерения энергетических, детонационных характеристик эмульсионных ВВ, а также экспресс-определения прочностных свойств горных пород в естественном залегании (Б)



**Направление:** Геомеханика, современная геодинамика, мониторинг опасных техногенных процессов

1. Разработаны основы районирования территорий по риску техно-природных катастроф, включающие:

- методику определения параметров современных геодинамических движений трендового (крип) и циклического характера;
- систематизацию и анализ архивных данных по изучению геодинамической активности позволившие сформировать и зарегистрировать базы данных на объектах недропользования;
- комплексное использование геофизических методов при геодинамической диагностике массива горных пород с составлением программы геодинамического районирования;
- усовершенствованную методику диагностики геодинамической активности массивов скальных горных пород с учетом совместного влияния современных движений земной коры и процессов подземной разработки месторождений полезных ископаемых;
- численное моделирование размеров зоны обрушения в стенках выработок маломощных жил до 3 м с последующей оценкой развития деформационных процессов.

**Мельник В.В., Саиурин А.Д.** Взаимосвязь геомеханики и недропользования с позиций законодательного определения термина «Недра». // Горная промышленность. - 2022. - № 1S. - С. 100-104. - DOI: 10.30686/1609-9192-2022-1S-100-104.



**Рисунок 8 – Основы районирования территорий по риску техно-природных катастроф**

2. Установлено, что трендовые (криповые) движения имеют место на внутриплитных асейсмичных территориях, перекрытых мощной толщей осадочных обводненных пород. Этот фактор необходимо учитывать при проектировании масштабной добычи полезных ископаемых с целью минимизации риска развития техногенных катастроф при недропользовании. По результатам многолетних экспериментальных исследований закономерностей распределения скоростей и амплитуд пространственных смещений наблюдательных пунктов высокоточных геодезических сетей разработана методика, позволившая создать и зарегистрировать базу данных о параметрах современных геодинамических движений на примере Курской магнитной аномалии (КМА).

**Панжин А.А., Саиурин А.Д., Панжина Н.А. и др.** Методические основы оценки исходного напряженно-деформированного состояния для районирования территорий по риску природно-техногенных катастроф на объектах недропользования. // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2022. – № 4. – С. 297-308. – DOI: 10.25635/y1113-5609-2774-q.

3. Обоснована методика геодинамической диагностики на основе комплексирования геофизических методов, включающая радонометрию (Патент на государственной регистрации), электрометрию в варианте метода срединного градиента с модернизированным функционалом и метод спектрального сейсмопрофилирования для построения структурно-тектонической модели исследуемого массива горных пород, на основе которой разработана программа геодинамического районирования территории на примере Сарановского месторождения.

**Далатказин Т.Ш., Ведерников А.С., Григорьев Д.В.** Исследования возможности применения методики срединного градиента при изучении современной геодинамической активности. // Проблемы недропользования. – 2022. – № 4(35). – С. 132-138. – DOI: 10.25635/2313-1586.2022.04.132.





Рисунок 9 – Схема расположения наблюдательных пунктов на территории КМА

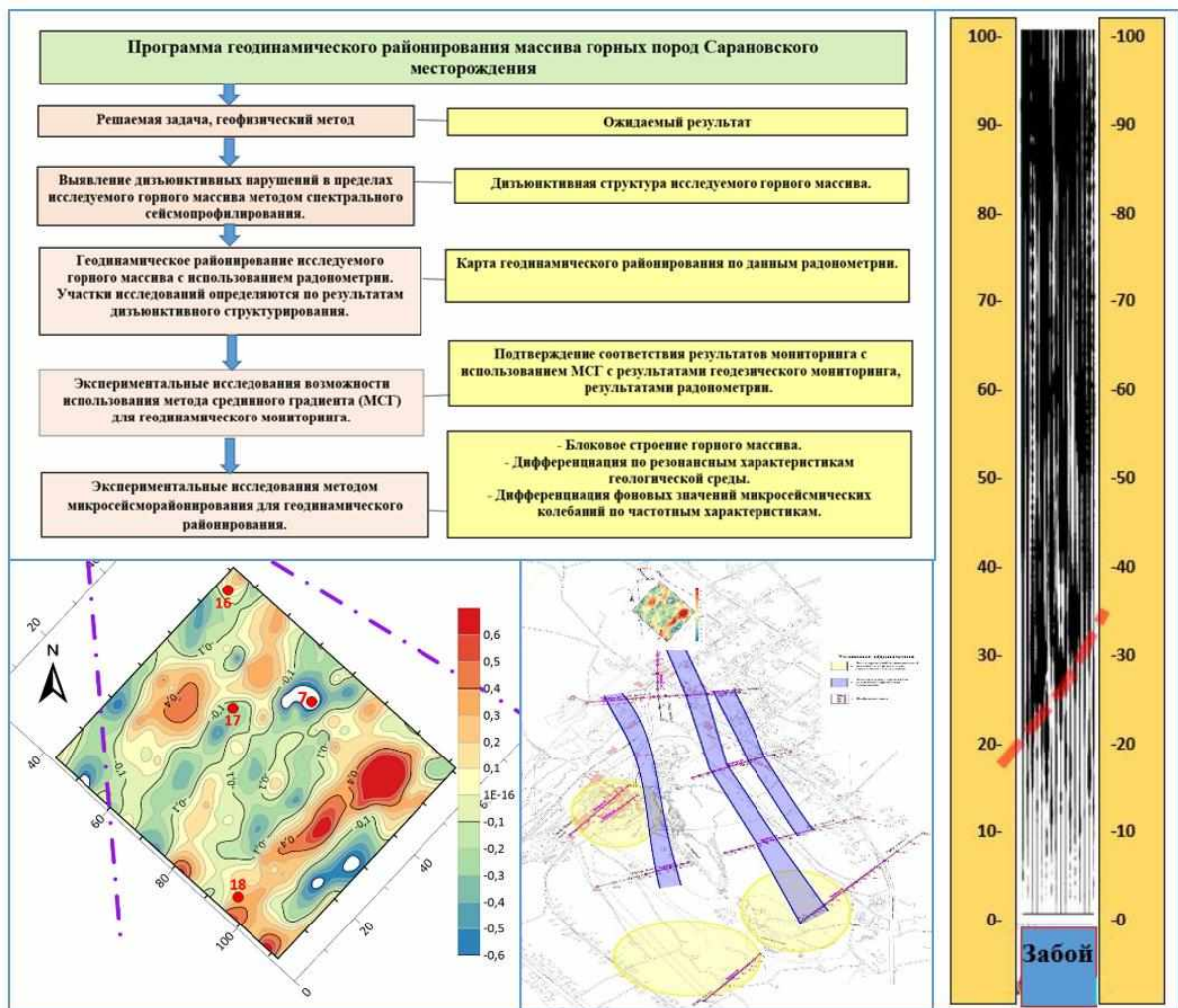


Рисунок 10 – Программа геодинамического районирования массива горных пород Сарановского месторождения

4. Анализ исторических данных исследования геодинамической активности земной поверхности позволил обосновать основные факторы, представляющие опасность для сохранности зданий и сооружений – геологические и техногенные геодинамические движения при ведении горных работ. На основе систематизации полученных данных созданы и прошли государственную регистрацию две базы данных: «База данных объектов мониторинга сдвижения и деформаций земной поверхности под воздействием горных разработок за 1940–2021 гг. на территории Российской Федерации» и «Данные наблюдений за процессом сдвижения на Главном Сарановском месторождении хромитов за период 1979–2021 гг.».

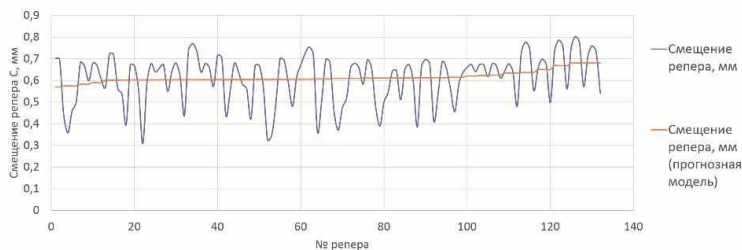
**Усанов С.В., Коновалова Ю.П., Ефремов Е.Ю. и др.** Внезапные (неожиданные) деформационные процессы в горном массиве при недропользовании: факторы проявления и возможности предупреждения. // Горная промышленность. - 2022. - № 1S. - С. 111-118. DOI: 10.30686/1609-9192-2022-1S-111-118.



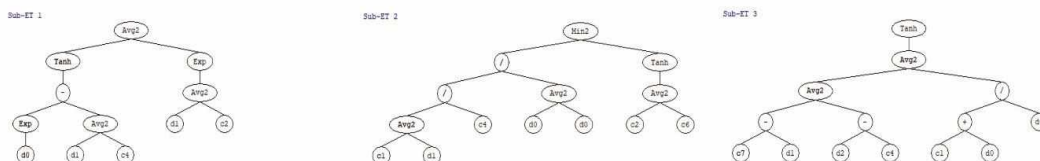
**Рисунок 11 – Свидетельства о регистрации баз данных**

5. На основании натурных исследований, выполненных в геодинамически активных скальных породных массивах в условиях совместного влияния современных движений земной коры и процессов подземной разработки, усовершенствована методика диагностики геодинамической активности массивов скальных горных пород, предусматривающая следующие этапы: 1) заложение реперных точек в породном массиве в окрестностях будущего выработанного пространства и зоны обрушения; 2) замер смещений реперных точек, произошедших вследствие формирования выработанного пространства и зоны обрушения. Составление базы данных замеренных смещений; 3) определение азимутов осей главных горизонтальных напряжений окружающего породного массива на основании анализа распределения замеренных смещений; 4) моделирование вариантов процесса формирования выработанного пространства и зоны обрушения путем варьирования компонентами главных горизонтальных напряжений породного массива при известных азимутах их осей; 5) нахождение модуля упругости и соотношения главных горизонтальных напряжений окружающего породного массива путем сопоставительного анализа фактически замеренных и расчетных смещений реперных точек при различных вариантах НДС путем использования математического метода программирования экспрессии генов (GEP).

**Харисов Т.Ф., Каюмова А.Н., Балек А.Е.** Оценка безопасности проходки сближенных капитальных камерных выработок в сложных горно-геологических и геотехнических. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2022. – № 7. – С. 131-147. – DOI: 10.25018/0236\_1493\_2022\_7\_0\_131.



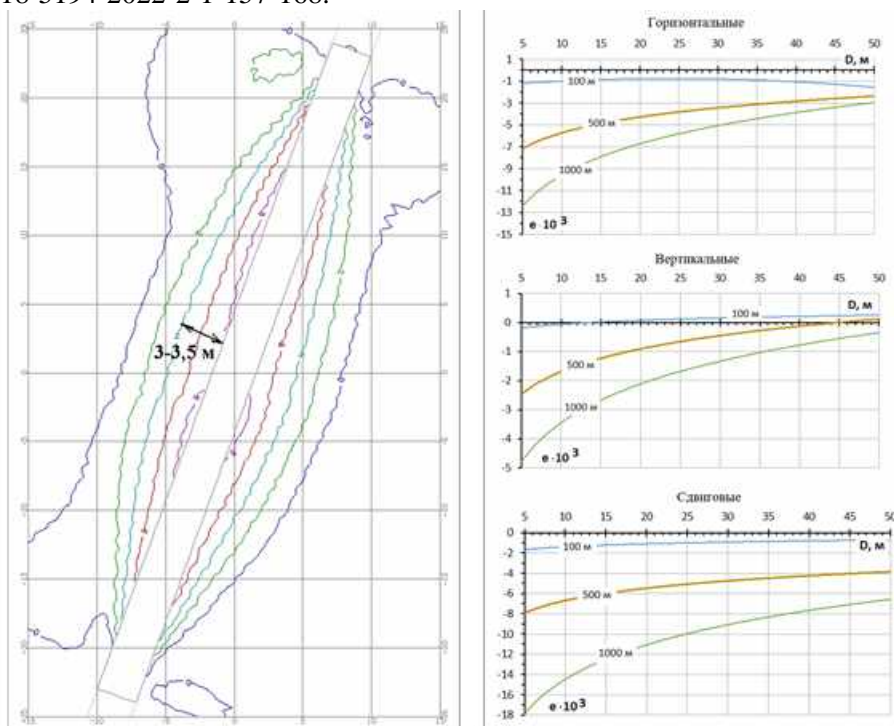
$$C = \text{Avg}(\tanh(\exp(d0) - \text{Avg}(d1; 6.84))); \exp(\text{Avg}(d1; -6.95)) + \text{Min}((\text{Avg}(3.29; d1) - 1.81) / \text{Avg}(d0; d0); \tanh(\text{Avg}(-1.62; -1.14))) + \tanh(\text{Avg}(\text{Avg}((6.08 - d1); (d2 + 8.61)); (11.78 + d0) / d0))$$



**Рисунок 12 – Поддеревья экспрессии генов для усовершенствованной методики диагностики геодинамической активности массивов скальных горных пород**

6. Проанализированы существующие подходы к оценке параметров деформирования массива горных пород. Моделированием уточнены размеры зоны обрушения в бортах с открытым очистным пространством и с закладкой для маломощных жил до 3 м. Дана оценка развития деформационных процессов. Установлена зона опасных деформаций при подземной выемке маломощных рудных тел. Проведены экспериментальные работы по изучению природных напряжений. Продолжен геодеформационный мониторинг изменения напряженного состояния массива горных пород. Уточнен алгоритм для последующих этапов работы.

**Авдеев А.Н., Сосновская Е.Л.** Обоснование рациональных параметров систем разработки наклонных жил малой и средней мощности при изменении криоусловий. // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2022. – № 2. – С. 157-168. – DOI: 10.46689/2218-5194-2022-2-1-157-168.



**Рисунок 13 – Расчетные напряжения (слева) и деформации (справа) в наиболее напряженных участках контура полевых выработок для условий выемки рудных тел мощностью до 3 м системами с открытым очистным пространством**



**Направление:** Изучение и моделирование горнотехнических систем и процессов техногенного преобразования недр, численное моделирование и геоинформатика

1. Показано, что защищенность горнопромышленной территории, как состояние сложной системы, характеризует ее безопасность, которая оценивается способностью сохраняться, когда воздействие на нее внешних и внутренних факторов по имеющимся на данном этапе знаниям не приводит к развитию негативных процессов, а риск или ущерб принесенного (полученного) вреда ограничен допустимым уровнем. Применительно к комплексной оценке данных геоинформационного мониторинга горнотехнических систем защищенность оценивается рядом количественных характеристик и взаимозависящих показателей – индикаторов, характеризующих устойчивость системы к негативным воздействиям.

*Аленичев В.М., Корнилков С.В.* О мониторинге безопасности хозяйственной деятельности на территории ведения горных работ. // Проблемы недропользования. – 2022. – № 4(35). – С. 53-62. – DOI: 10.25635/2313-1586.2022.04.053.



**Рисунок 14 – Системный динамический комплексный геоинформационный мониторинг природно-технологических систем – инструмент контроля технических и экологических рисков**

2. Предложен методический подход к решению задачи накопления и обработки данных мониторинга горнопромышленных территорий, основанный на:

- выделении активных тектонических структур массива горных пород, которые могут являться «оптимально ориентированными нарушениями», инициированными антропогенной деятельностью;
- использовании комплекса сейсмических, геологических, геодезических и геопространственных (геоинформационных) данных с целью идентификации и визуализации современных геодинамических движений, что позволяет районировать массив по зонам концентрации природных и техногенных деформаций.

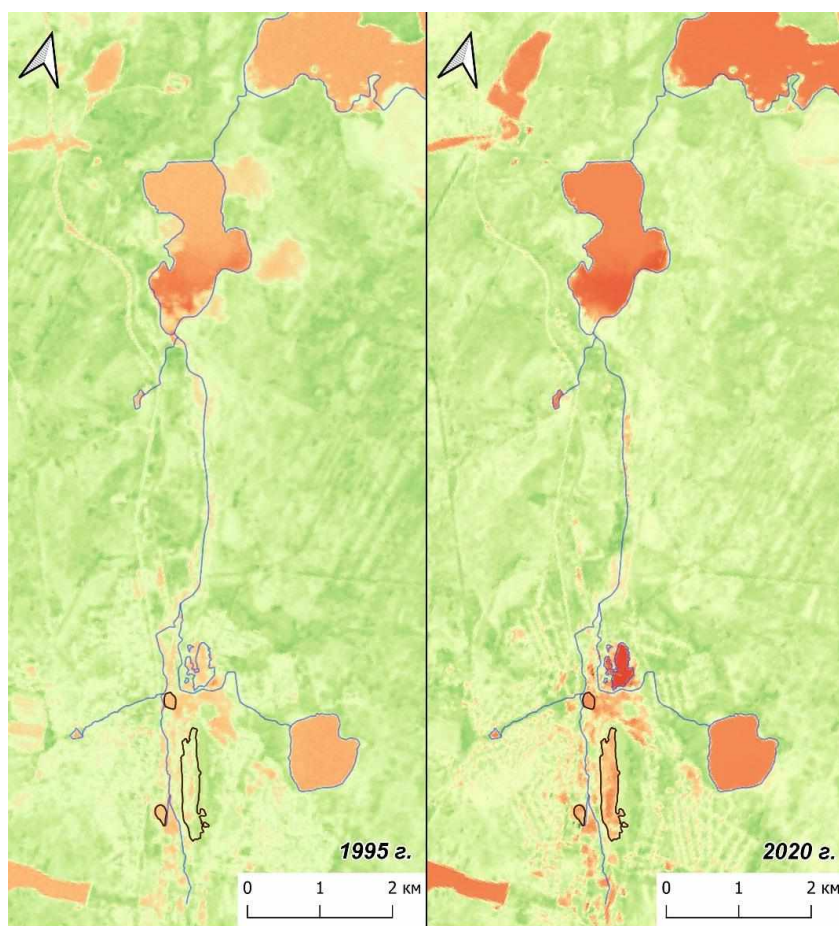
*Panzhin A.A., Panzhina N.A.* Spatial and temporal stability of a reference frame as the basis of deformation monitoring. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2022. – P. 012046. – DOI: 10.1088/1755-1315/991/1/012046.

3. Установлено, что вегетационный индекс (NDVI) является надежным инструментом-индикатором для оценки процессов деградации ландшафта горнопромышленной территории. На примере Дегтярского медно-колчеданного месторождения показано, что динамика изменения NDVI за период 1986-2020 гг. по данным геоинформационной оценки мультиспектральных космических снимков свидетельствует о развитии процессов деградации территории как во время обработки, так и на постэксплуатационном этапе.

*Рыбникова Л.С., Рыбников П.А., Наволокина В.Ю.* Снижение негативного влияния законсервированного медноколчеданного рудника Урала на состояние гидросферы. // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2022. – № 3. – С. 194-201. – DOI 10.15372/FTPRPI20220318.



Рисунок 15 – Схема методического подхода к решению задачи накопления и обработки данных мониторинга горнопромышленных территорий



Условные обозначения:

NDVI

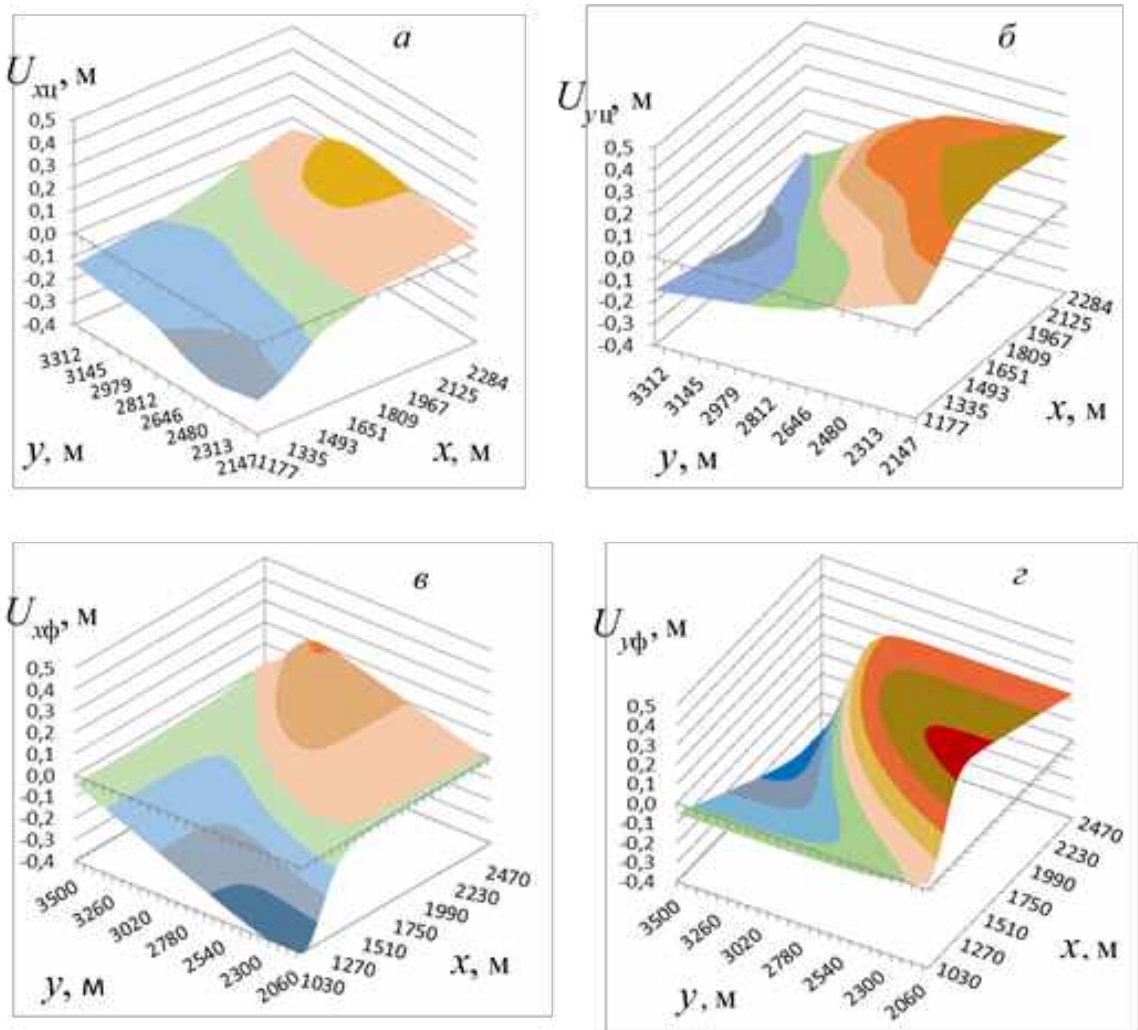
■ -0,42 ■ -0,21 ■ -0,01 ■ 0,20 ■ 0,41 ■ 0,62 ■ 0,83

Рисунок 16 – Динамика изменения индикатора NDVI Дегтярского месторождения за период 1995-2020 гг.



4. Показано, что при наличии явных признаков блочной структуры земной поверхности, определенных по разнонаправленным, но блочно-организованным перемещениям наблюдательных геодезических пунктов, проявляется преимущество информативности функционально-факторного моделирования деформации, состоящее в более точном и конкретном определении на земной поверхности зон ее образования, что раскрывает связи и причинно-следственные закономерности в областях интерполяции и экстраполяции.

**Антонов В.А.** Экспериментальное математическое моделирование в решениях научных и практических задач горного производства. // Проблемы недропользования. – 2022. – № 2(33). – С. 92-102. – DOI: 10.25635/2313-1586.2022.02.092.



**Рисунок 17 – Распределение проекций моделируемого горизонтального перемещения точек земной поверхности**

5. Для обоснования критериев оценки защищенности горнопромышленных территорий предложена совокупность эколого-экономических индикаторов, характеризующих биогеохимические особенности формирования природно-техногенных комплексов и трансформации земельных ресурсов. Экспериментальными исследованиями перераспределения тяжелых металлов в системе «техногенный поток сточных промышленных вод – биогеохимический барьер» установлено, что искусственно сформированный барьер из отходов железо-магниевого производства («паста»), позволяет увеличить в нем концентрацию меди с 41,25 мг/кг до 1264,8 мг/кг, цинка с 77,7 мг/кг до 4885,0 мг/кг, тем самым уменьшить дальнейшую миграционную активность исследуемых элементов.

**Антонинова Н.Ю., Шубина Л.А., Шепель К.В. и др.** Оценка возможности использования отходов производства при разработке мероприятий по иммобилизации тяжелых металлов. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 5-1. – С. 46-55. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2022\_51\_0\_46.

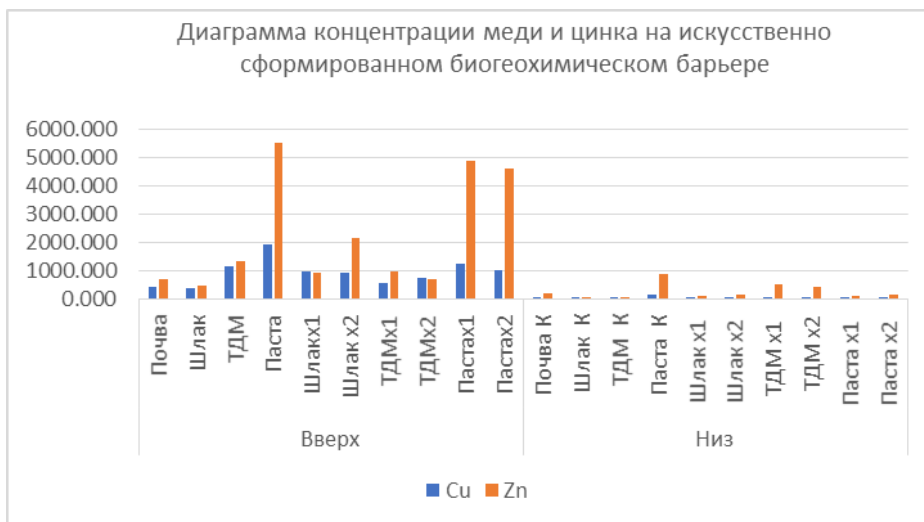


Рисунок 18 – Диаграмма концентрации меди и цинка на искусственно сформированном биогеохимическом барьере

## 2.9. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ПЕРМСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР. ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ УРО РАН

*Проведены опытно-конструкторские испытания системы контроля направления движения комбайна на калийном руднике*

### Аннотация

В 2022 году смонтирована уникальная автономная система навигации для добычного комбайна Урал 20-Р. В ходе испытаний проведена наладка и юстировка системы в части курсовой навигации и ориентации комбайна по крену и тангажу. Первая проходка в автономном режиме осуществлена на калийном руднике по транспортному и конвейерному штрекам и составила 300 м, при этом отклонение от проектных осей выработок на пройденных участках с использованием системы навигации комбайна составило несколько сантиметров (при нормативном отклонении не более 0,2 м). Данная работа стала основой для последующего развития навигации добычного комбайна и перехода к полностью безлюдной выемке калийных ископаемых.

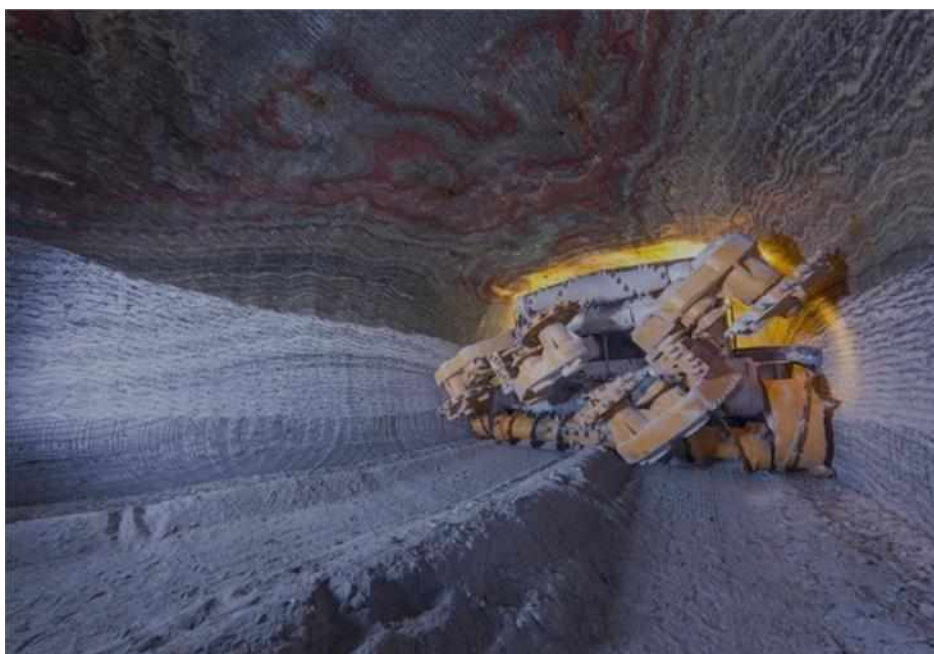


Рисунок 1 - Движение комбайнового комплекса с установленной системой навигации по выработке калийного рудника

## Система онлайн-мониторинга породного массива с помощью распределенной оптоволоконной системы регистрации акустических колебаний

### Аннотация

Проведен полевой эксперимент и получено подтверждение возможности регистрации сейсмоакустических сигналов распределенной оптоволоконной акустической системой. Данные результаты позволили развернуть систему онлайн-мониторинга на основе распределенной оптоволоконной системы измерения акустических колебаний с целью контроля состояния породного массива на потенциально опасных участках шахтных полей калийных рудников.

**Чугаев А.В., Санфиоров И.А., Тарантин М.В. Трапезникова А.Б., Носков А.О.** Получение сейсмических изображений в методе межскважинного просвечивания на основании углубленного анализа волнового поля. «Инженерная и рудная геофизика–2022». – Геленджик, 2022.

**Лисин В.П., Санфиоров И.А., Чугаев А.В., Богданов Р.А., Тарантин М.В., Шулаков Д.Ю.** О возможностях использования техногенных шумов для оценки состояния грунто-породного массива на аварийном участке шахтного поля. «Инженерная и рудная геофизика–2022». – Геленджик, 2022.

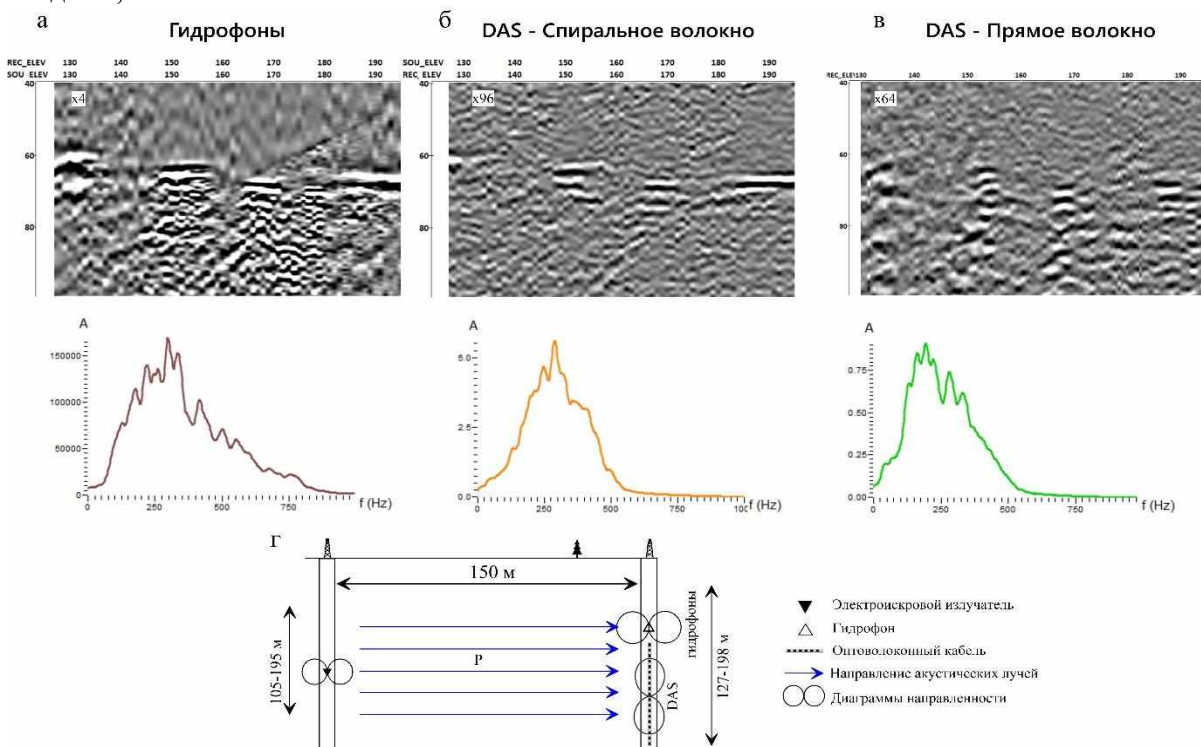


Рисунок 2 - Сейсмограммы параллельного межскважинного просвечивания, полученные с помощью гидрофонов (а) и DAS (б, в); г – схема просвечивания, вертикальный разрез

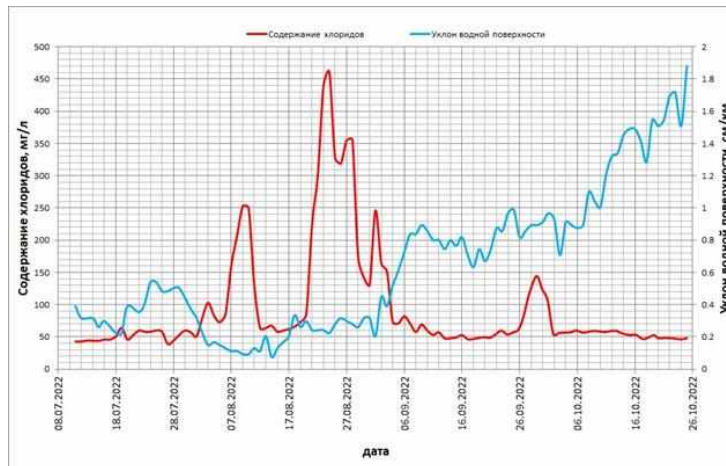
**Установлен механизм формирования вертикальной гидрохимической стратификации водной массы, препятствующей бесперебойному функционированию технических водозаборов промышленного района**

### Аннотация

Установлены причины значительных кратковременных повышений минерализации воды в придонной области р. Камы (Камское водохранилище) в районе г. Березники. При малых уклонах водной поверхности (скоростях течений 0.1-0.15 м/сек), формируется вертикальная стратификация водных масс, что приводит к ухудшению качества воды, требуемой для технического водоснабжения предприятий Березниковского промышленного узла. При повышении скоростей течений, вертикальная стратификация водных масс достаточно быстро разрушается. 3D модель данного явления позволяет воспроизвести и регулировать стратификацию водных масс.

**Любимова Т.П., Лепихин А.П., Паршакова Я.Н., Богомолов А.В., Ляхин Ю.С.** Влияние на качество отбираемой воды нестационарности скоростного режима водного объекта при наличии в нем плотностной стратификации // Вычислительная механика сплошных сред. - 2022. - Т. 15. - № 2. - С. 133-144.

*Лепихин А.П., Богомолов А.В., Ляхин Ю.С.* К особенностям формирования качества воды р. Камы (Камского водохранилища) в зимний период в районе г. Березники // Горное эхо. - 2022. - № 1 (86). - С. 13-25.



**Рисунок 3 -** Временная динамика содержания хлоридов в воде, забираемой водозаборами предприятий в г. Березники, а также уклона водной поверхности

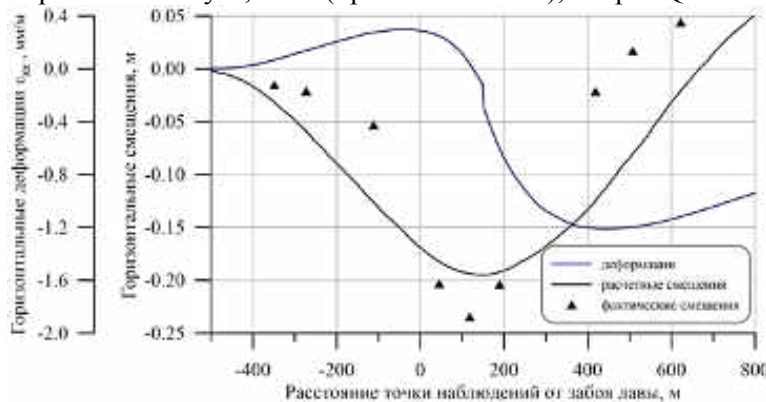
**Методика прогнозирования процесса сдвижения при отработке калийных руд длинными очистными забоями**

Аннотация

Разработана и верифицирована методика математического моделирования динамики оседания земной поверхности в процессе движения фронта очистных работ при отработке калийных руд длинными забоями.

Показана возможность достижения соответствия между расчетными оседаниями и натурными наблюдениями за сдвижением земной поверхности на основе учета фактической скорости движения забоя лавы и вариации свойств обрушенных пород.

*Барях А.А., Девятков С.Ю., Денкевич Э.В.* Математическое моделирование развития процесса сдвижения при отработке калийных руд длинными очистными забоями // Записки Горного института, 2022 (принята в печать), Scopus Q1.



**Рисунок 4 –** Горизонтальное смещения и деформации земной поверхности в точке наблюдения

**Обоснована безопасность всасывающего способа проветривания тупиковых выработок калийных рудников**

Аннотация

Предложен новый подход к вентиляции тупиковых выработок калийных рудников, основанный на всасывающем способе проветривания. Разработана и параметризована уникальная трехмерная модель, описывающая особенности проветривания тупиковой горной выработки с работающим комбайном.

Выявлено существенное влияние тепловой конвекции на движение воздушных потоков вблизи комбайна.

Найдены оптимальные параметры системы вентиляции, при которых удастся снизить запыленность атмосферы рабочих мест тупиковых выработок до допустимого уровня, а также не допустить скопления газов вблизи тупикового забоя.



*Isaevich A., Semin M., Levin L., Ivantsov A., Lyubimova T.* Study on the Dust Content in Dead-End Drifts in the Potash Mines for Various Ventilation Modes // Sustainability. – 2022. – V. 14. – No. 5. – article No. 3030 (Scopus Q1, WoS Q2, IF 3.889).

***Разработана и параметрически обеспечена многофакторная модель, связывающая сейсмическую активность с горнотехническими условиями на рудниках Верхнекамского месторождения***

Аннотация

Установлено наличие тесной корреляционной связи между горнотехническими параметрами и микросейсмической активностью в горных выработках.

Разработана и параметрически обоснована многофакторная математическая модель, позволяющая прогнозировать выделение сейсмической энергии на основании совокупности данных о характеристиках горных работ.

Данная модель используется для прогнозирования динамики сейсмической активности и корректировки планов горных работ.

***Злобина Т.В.*** Апробация метода прогноза сейсмической активности для Верхнекамского месторождения калийных солей / Т.В. Злобина, Р.А. Дягилев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2022. – № 4. – С. 56-66. – DOI: 10.25018/0236\_1493\_2022\_4\_0\_56. – EDN EADAPS.

***Выявлен механизм мобилизации, миграции и разгрузки газонасыщенных рассолов вдоль линейных зон, приуроченных к синклиналим перегибам в соляной толще Верхнекамского месторождения***

Аннотация

Показано, что в процессе складчатости газонасыщенные рассолы мобилизуются из многочисленных мелких структур типа pop-up или kink bands пласта КрIII, мигрируют через пласт КрII, вызывая вынос хлорида натрия и разгружаются в глинистых прослоях кровли пласта КрII.

Установлено, что рассолы, поступавшие в пласт КрII были обогащены легкими углеводородами (СН<sub>4</sub>, С<sub>2</sub>Н<sub>6</sub>, С<sub>3</sub>Н<sub>8</sub>). В процессе формирования жилы проявилась дифференциация газов, обусловленная избирательной сорбцией азота, углеводородов и углекислого газа сильвином и глинистым материалом на ранней стадии и азота галитом на поздней.

***Чайковский И.И., Иванов О.В., Бубнова М.В., Федоров Т.В.*** О природе, составе и газонасыщенности эпигенетической минерализации в соляной толще Верхнекамского месторождения (на примере Усольского рудника) // Литосфера (в печати)

***Закономерности распределения газодинамических характеристик в породах кровли и почвы горных выработок на Старобинском месторождении калийных солей при двойном техногенном воздействии***

Аннотация

Впервые установлены закономерности распределения газодинамических характеристик в породах кровли и почвы горных выработок на Старобинском месторождении калийных солей при двойном техногенном воздействии. Распределения газодинамических характеристик в породах кровли и почвы горных выработок на Старобинском месторождении калийных солей позволяют оценить газодинамическую опасность при проходке подготовительных выработок. Разработаны и внедрены рекомендации по параметрам профилактических мероприятий для обеспечения безопасного ведения подготовительных горных работ в условиях техногенного воздействия на Старобинском месторождении калийных солей.

The Static Analysis of the Gas Content and the Gas-Dynamic Characteristics at the Second Potash Bed in the Starobinsk Potassium Salts Deposit/*Sergey S. Andreyko, Natalya Litvinovskaya, Artem Papulov and Tamara Lyalina* // Fluids 2022, 7(8), 278; doi:10.3390/fluids7080278.

***Методика обоснования оптимальных технологий очистки кислотного шахтного дренажа***

Аннотация

С использованием расчетных значений фактической кислотности и сведений об объемах изливов шахтных вод, разгружающихся через заброшенные горные выработки и родники в бассейне р. Косьва (Кизеловский угольный бассейн), обоснованы возможность и условия при-



менения систем пассивной очистки кислотного шахтного дренажа, характеризующихся минимальной стоимостью строительства и эксплуатации.

**Фетисова Н.Ф.** Кислотность и щелочность шахтных вод как ключевые показатели для планирования систем очистки // Горное эхо. – 2022. - № 2 (87). - С. 32-38. - DOI:10.7242/echo.2022.2.5

**Выбор модели Земли для трансформации аномалий силы тяжести при высокоточных гравиметрических работах**

Аннотация

Проведена серия вычислительных экспериментов, целью которых являлся выбор модели Земли для трансформации аномалий силы тяжести. Установлено, что различия трансформант для «плоской» и «сферической» моделей составляют около 3–5%, для «эллипсоидальных» и «сферической» моделей не превышают 0,05%. В роли «эллипсоидальных» моделей выступали общеземные эллипсоиды WGS-84, ПЗ-90.11 и референц-эллипсоид Красовского. Отмечаются заметное влияние краевых эффектов и целесообразность использования при расчетах сферы В.В. Каврайского, применяющейся в аэронавигации и являющейся «квазиэллипсоидальным» приближением формы нашей планеты. Установлено, что трансформации гравитационного поля с высокой точностью можно реализовать на основе представлений о шарообразной форме Земли.

**Долгаль А.С., Костицын В.И., Пугин А.В., Хохлова В.В.** Выбор модели Земли для трансформации аномалий силы тяжести в процессе региональных исследований // Геофизика. - 2022. - № 5. - С. 6–12. [RSCI]

**Определены изотопно-геохимические особенности формирования состава подземных вод в нижнепермских отложениях карстовых районов Среднего Предуралья**

Аннотация

В карстовых районах Среднего Предуралья определены условия формирования природных вод на основе изучения сезонных вариаций стабильных изотопов водорода и кислорода в сочетании с вариациями химического состава.

- Впервые для исследуемых карстовых районов получены и внесены в базу данных изотопные характеристики атмосферных осадков, подземных вод и вод поверхностного руслового стока.

- Установлена широтная зональность распределения изотопов водорода и кислорода в подземных водах, распространённых в нижнепермских отложениях карстовых районов.

- Прослежено влияние литологического состава вмещающих пород на формирование изотопно-гидрохимического облика подземных вод.

**Казанцева А.С.** Изотопно-геохимические особенности формирования состава подземных вод в нижнепермских отложениях карстовых районов Среднего Предуралья: дис. ... канд геол. мин. наук. – Москва, 2022. – 151 с.

**Разработана комплексная методика оценки нарушенных зон в окрестности капитальных и подготовительных выработок**

Аннотация

Впервые разработана комплексная методика оценки нарушенных зон в окрестности капитальных и подготовительных выработок на основе измерения величины напряжений, модуля деформации и параметров акустической эмиссии (АЭ) пород приконтурного массива. Размеры нарушенных зон в окрестности подземных выработок, пройденных в осадочном массиве, коррелируют с пониженными относительно фона значениями напряжений и модуля деформации, а также с повышенными значениями интенсивности АЭ в приконтурных породах. На основе информации о размерах нарушенных зон в приконтурном массиве осуществляется выбор и обоснование способов охраны и крепления подземных выработок.

**Поспелов Д.А., Токсаров В.Н., Бельтюков Н.Л.** Методика оценки модуля деформации пород в приконтурном массиве с использованием скважинного гидродомкрата // Горное эхо. - 2022 г. - № 1. - С. 51-57.

**Бельтюков Н.Л.** Оценка состояния пород вокруг подготовительной выработки в соляном массиве // Горное эхо. - 2021 г. - № 3. - С. 30-34.

## 2.10. ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ - ОБОСОБЛЕННОЕ ПОДРАЗДЕЛЕНИЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ФЕДЕРАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЦЕНТРА «КОЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК»

В 2022 г. в ГоИ КНЦ РАН выполнялись исследования по 5 темам (в соответствии с государственным заданием, утвержденным Минобрнауки России) по следующим приоритетным фундаментальным направлениям горных наук: разработка цифровых технологий и информационных систем для решения задач горно-обогатительного производства; обеспечение геомеханической безопасности природно-технических систем горнодобывающей отрасли; создание ресурсосберегающих технологий переработки природного и техногенного минерального сырья; восстановление техногенно-нарушенных объектов природной среды.

Наиболее значимые полученные результаты распределены по направлениям:

### Геотехнология

Разработан комплекс алгоритмов, программных средств и методических подходов по планированию открытых горных работ для средне- и краткосрочных периодов, основанный на моделировании горно-геологических условий и технологических процессов выемки и транспортирования горной массы. Для получения рационального плана горных работ применён сценарный подход, где в качестве целевых показателей планирования используются объёмные и качественные характеристики извлекаемой горной массы, а в качестве критериев оптимизации эффективное использование парка горной техники и минимизация затрат (рисунки 1 и 2).

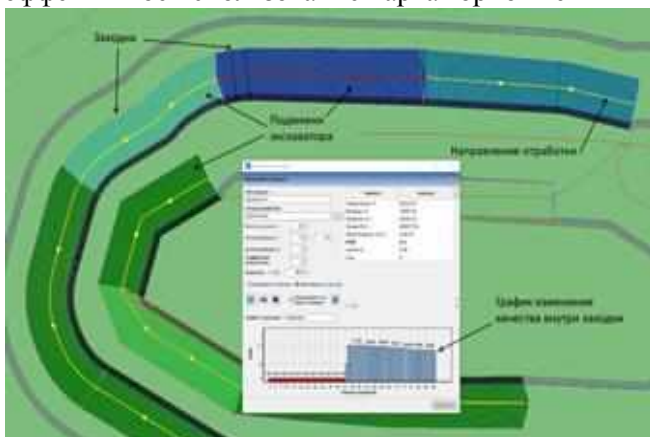


Рисунок 1 – Формирование экскаваторных заходок с расчётом объёмных и качественных

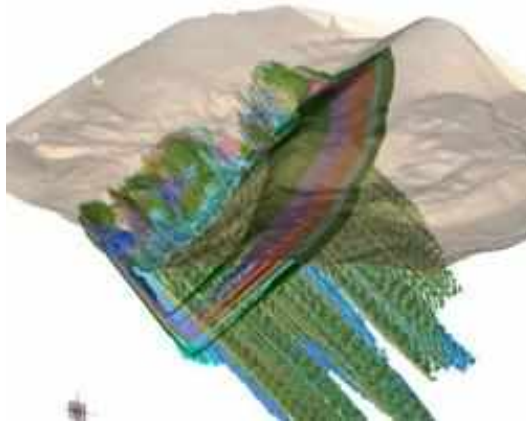
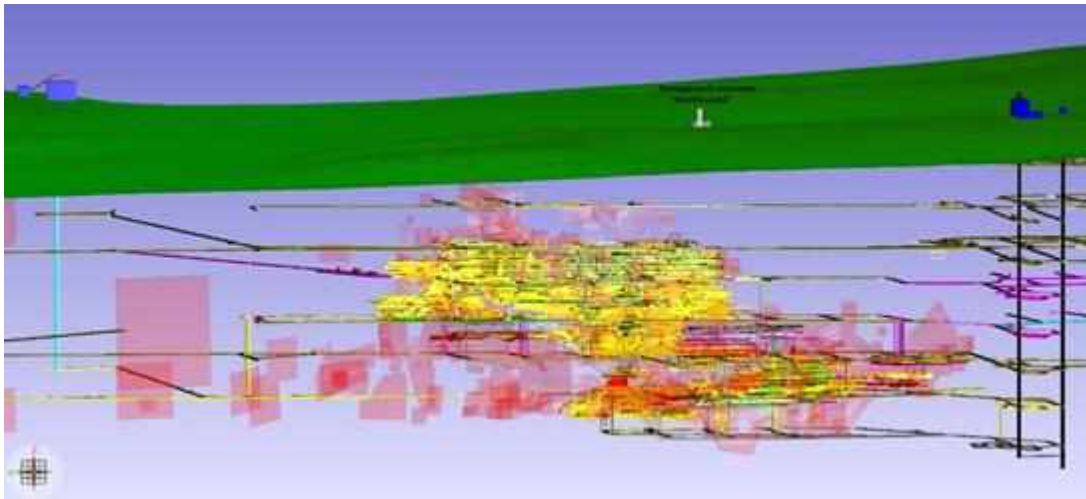


Рисунок 2 – Горно-геометрический анализ границ карьера с формированием 3D моделей их положений

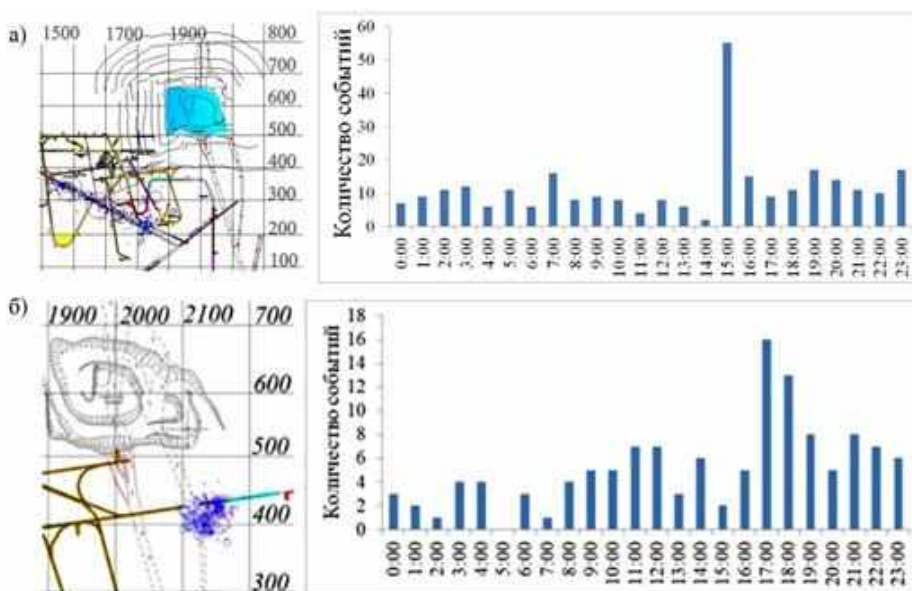
На рудниках ПАО «ППГХО» (Госкорпорация Росатом) на базе ГГИС MINEFRAME внедрена технология цифрового инженерного обеспечения горных работ, в рамках которой созданы модели месторождений, подземных выработок и выемочных единиц; реализованы инструменты моделирования фактического состояния выработанного пространства и корректировки моделей геологической среды; созданы инструменты планирования и моделирования горных работ, включая закладочные работы; реализована связь между системой микросейсмического мониторинга и цифровой средой проектирования и планирования горных работ (рисунок 3).

### Геомеханика

На примере ведения горных работ вблизи Саамского разлома установлены условия и механизмы реализации сейсмических событий. Дана оценка влияния природных и техногенных факторов на микросейсмичность массива и установлены наиболее опасные триггерные воздействия. Предложен методический подход, основанный на анализе данных микросейсмического мониторинга, по дифференциации участков массива по типам и длительности сейсмического отклика на различные виды воздействий (рисунок 4).



**Рисунок 3 – Модели рудных тел, горных выработок и плоскости растягивающих деформаций на одном из рудников ПАО «ППГХО»**

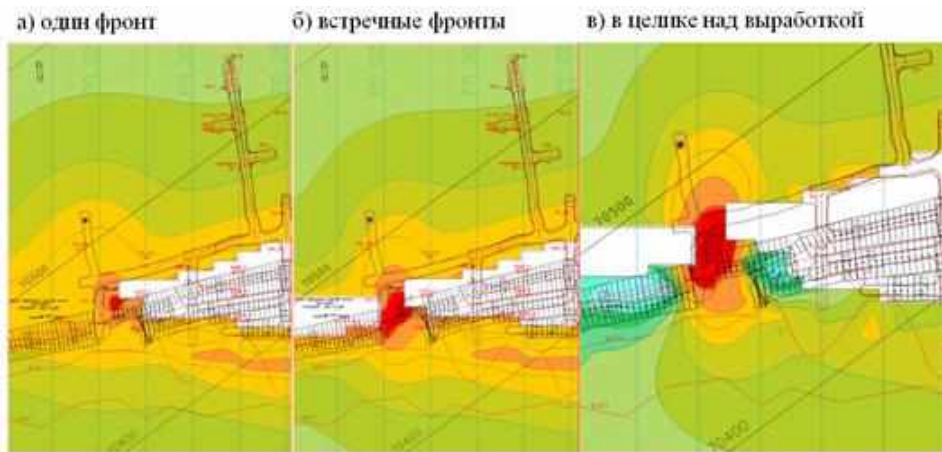


**Рисунок 4 – Сейсмическая активность двух кластеров: кластеры сейсмособытий в проекции на план горных работ и распределение сейсмособытий по времени суток**

На основе пространственно-временного анализа проявлений сейсмоактивности в массиве горных пород подземных рудников Хибин выявлены 2 группы локализации сейсмичности массива: сейсмичность в рабочей зоне, непосредственно связанная с технологическими взрывными работами, и сейсмичность природная, обусловленная структурно-геологическими факторами.

На основе комплексных исследований физико-механических свойств пород, напряжённо-деформированного состояния, геолого-структурных и гидрогеологических особенностей массива выявлены потенциально опасные зоны борта карьера. Показана возможность продления срока отработки Коашвинского месторождения открытым способом на основе увеличения углов наклона участков борта и углубления карьерной выемки. Разработан Регламент безопасной отработки глубоких горизонтов Коашвинского месторождения Хибинского массива открытым способом, в котором определены основные принципы, порядок и рациональные параметры ведения горных работ.

Обоснован механизм динамического разрушения массива и критические параметры циклов для Центрального рудного тела Ждановского месторождения с учетом геомеханических и геологических особенностей. Установлена глубина отнесения месторождения к склонным и опасным по горным ударам на основе данных натурных исследований поля напряжений, проявлений горного давления в выработках и анализа горного удара 13.10.2022 на руднике «Северный» АО «Кольская ГМК» (рисунок 5).

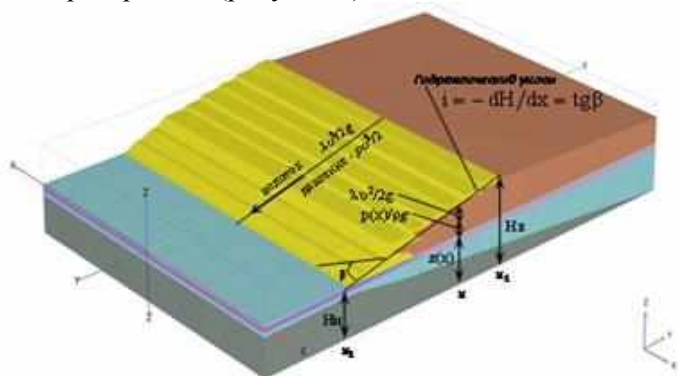


**Рисунок 5 – Распределение напряжений  $\sigma_{\max}$  на гор.-390м.**

*Красным цветом показана зона вероятного разрушения массива в динамической форме*

Предложен комплексный методический подход к оценке влияния на устойчивость уступов карьера зон повышенного водонасыщения и структурных нарушений прибортового массива, выявляемых с использованием методов сейсмопрофилирования и георадарного зондирования.

Установлены закономерности трансформации объекта складирования жидких минерально-сырьевых отходов горного производства как нестационарной природно-технической системы, заключающиеся в его переходе от равновесного состояния в стационарную фильтрацию, с развитием гидродинамики водотока и формированием опасных фильтрационно-деформационных процессов. Полученные на основе численного моделирования закономерности формируют научно-методическую основу для оценки промышленной безопасности объектов складирования минеральных отходов горного производства западной части российского сектора Арктики (рисунок 6).



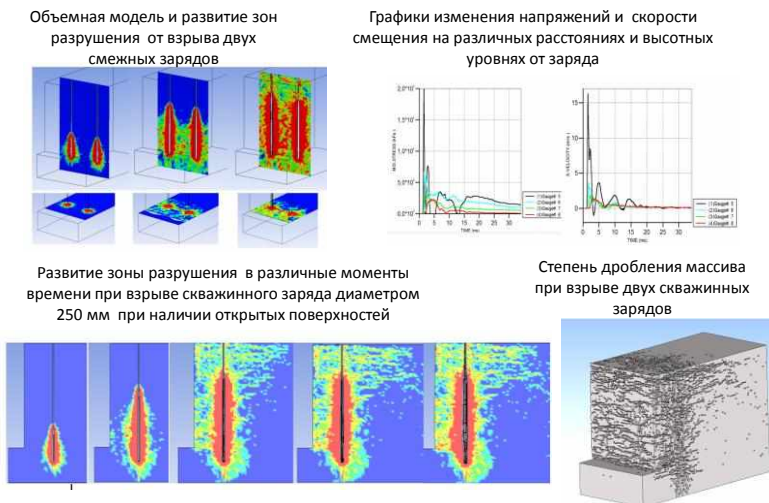
**Рисунок 6 – Гидрогеомеханическая 3D модель объекта складирования жидких минерально-сырьевых отходов горного производства как нестационарной природно-технической системы**

На основе комплексного ретроспективного анализа спутниковых (оптико-электронных и радарных), а также наземных (топографических, геологических, сейсмических, гидрологических и технологических) данных о территории установлена взаимосвязь развития механических инфильтрационных процессов в предохранительном целике с расширением фронта очистных работ. На примере рудника «Карнасурт» АО «Ловозерский ГОК» показано существенное снижение (в 4,4 раза) общей площади цирковых озёр в границах горного отвода за период наблюдений 1985-2020 гг.

### **Разрушение горных пород**

Для расширения существующих представлений о механизме действия взрыва при уступной отбойке с использованием программного продукта Ansys Autodyn разработана численная 3D-модель взрыва одиночного и группы скважинных зарядов на свободные поверхности. Модель позволяет для конкретных условий взрывания в динамике оценивать характер разрушения и перемещения отбиваемого слоя, получить количественные значения напряжений и скоростей смещения при взрыве скважинного заряда в различные моменты времени как в сторону свободных поверхностей, так и в тыльную часть массива. Использование модели позволяет обосновать оптимальные параметры взрывания, обеспечивающие необходимую степень дробления, оценить зоны разрушения и проявления наведенной трещиноватости в законтурном массиве (рисунок 7).



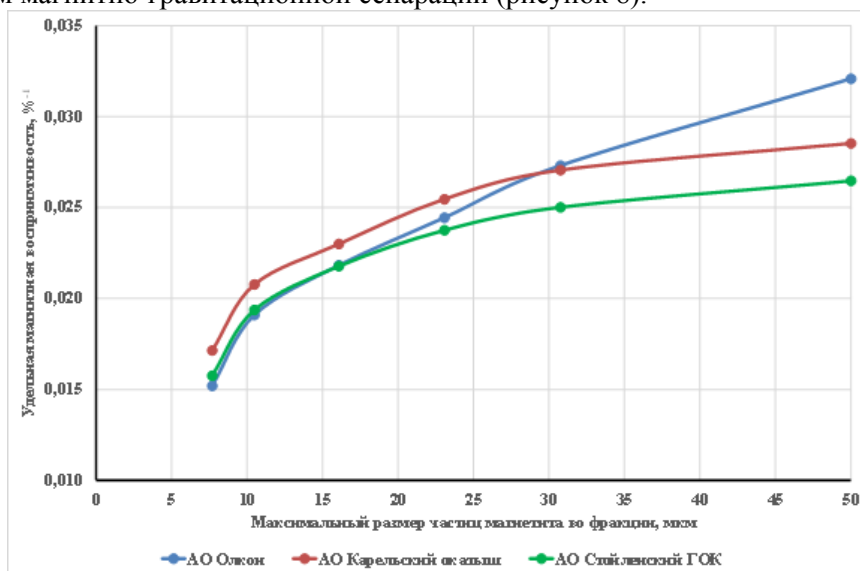


**Рисунок 7 – 3D модель взрыва скважинных зарядов при уступной отбойке**

По результатам экспериментальных наблюдений за сейсмическим действием взрывов в карьере рудника «Железный» АО «Ковдорский ГОК» уточнена методика оперативной оценки сейсмозрывного воздействия на законтурный массив в зависимости от условий взрывания и способов инициирования скважинных зарядов. Выявлено, что более существенное разуплотнение прибортового массива происходит в верхней части карьера, что связано с длительным временем его нахождения в конечном положении и повышенным сейсмическим действием при взрывании с помощью детонирующего шнура.

#### **Обогащение полезных ископаемых**

Установлена закономерность влияния размера зерен магнетита на магнитные свойства тонкоизмельченных магнетитовых концентратов, заключающаяся в монотонном снижении удельной магнитной восприимчивости в материале концентратов мельче 50 микрон с уменьшением крупности частиц минерала. Полученные результаты обосновывают рациональность стадийного вывода готового концентрата для уменьшения потерь с хвостами тонких частиц магнетита при получении на ГОКах высококачественных железорудных концентратов с использованием магнитно-гравитационной сепарации (рисунок 8).



**Рисунок 8 – Зависимость удельной магнитной восприимчивости магнетитовых концентратов от максимального размера частиц магнетита во фракции**

На основе исследований кинетики измельчения железосодержащих руд разработана технологическая схема с использованием процесса предварительного грохочения руды перед её измельчением в стержневой мельнице, позволяющая увеличить пропускную способность I стадии измельчения без снижения качества концентрата. Разработанная математическая модель процесса рудоподготовки с предварительным грохочением показала возможный прирост производительности I стадии измельчения более чем на 20% (рисунок 9).



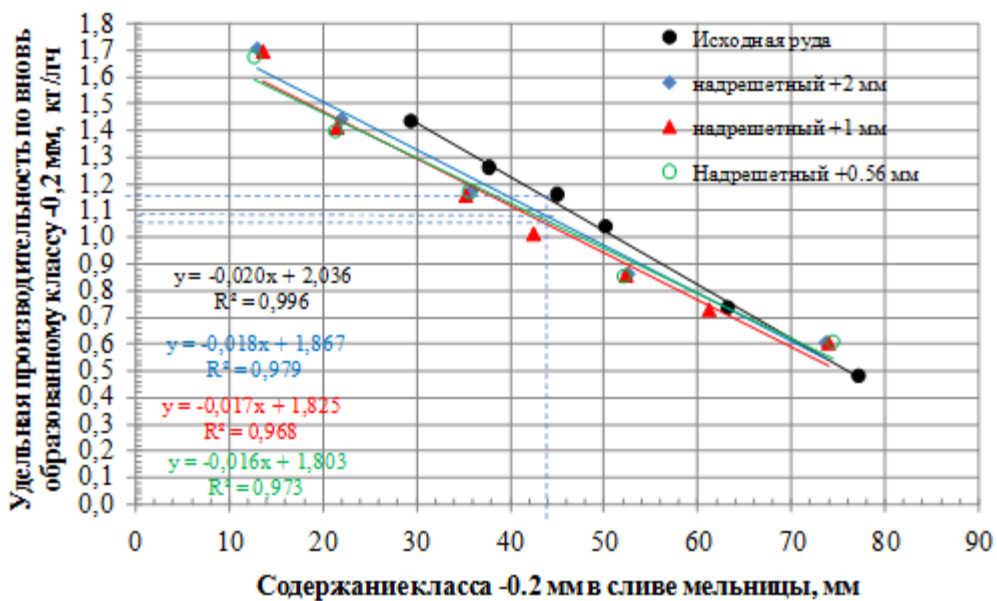


Рисунок 9 – Изменение удельной производительности мельницы по вновь образованному классу -0,2 мм в зависимости от его содержания в сливе мельницы для руды различной крупности

Разработана методика определения оптимальных режимов рудоподготовки при реализации технологии магнитно-гравитационной сепарации при стадийном выводе готового продукта. На примере руд Заимандровской группы месторождений показано, что применение грохочения по крупности 0,125 мм в замкнутом цикле шарового измельчения обеспечивает получение высококачественного железорудного концентрата с содержанием железа общего более 70% и извлечением около 95% от операции сепарации.

На основе установленных закономерностей седиментации дисперсной фазы технических сливов флотационного цикла при обогащении магнетит-карбонатных руд разработаны режимы водоподготовки для возврата их в технологический процесс. Полученные результаты приняты АО «Ковдорский ГОК» для разработки мероприятий по организации внутризаводского водоборота. Разработанный режим водоподготовки позволит сократить на 2,9 млн.м<sup>3</sup> в год объемы сливов, направляемых в хвостохранилище, что снизит финансовые и экологические издержки предприятия.

На основе исследований селективности собирателей при разделении тонкодисперсных частиц апатита и карбонатных минералов разработан эффективный реагентный режим, обеспечивающий при флотации тонкозернистых хвостов крупностью 65% класса минус 28 мкм подпрудовой части 1 поля хвостохранилища АО «Ковдорский ГОК» получение апатитового концентрата с содержанием 36,5-37% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Использование разработанного реагентного режима при переработке 1 т техногенного сырья позволит получать около 100 кг апатитового концентрата (рисунок 10).

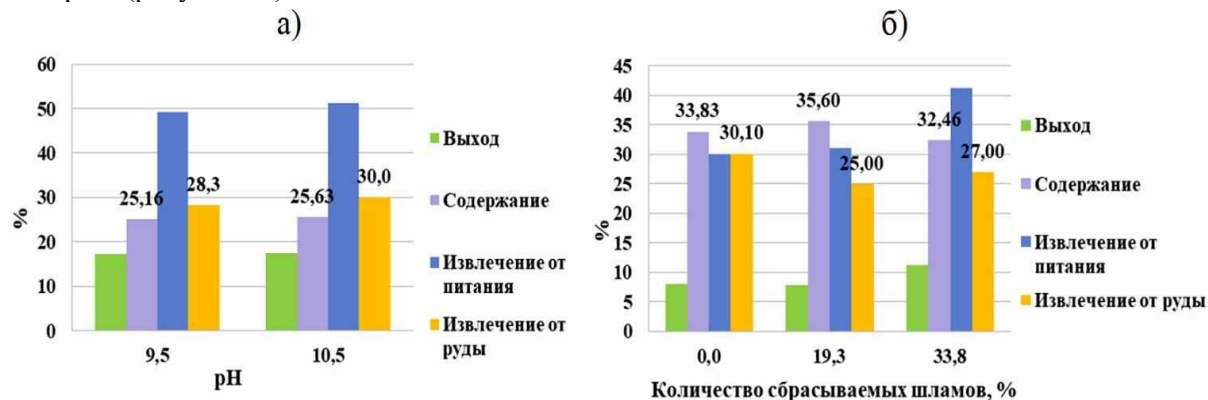


Рисунок 10 – Показатели флотации апатита в зависимости от pH пульпы (а) и количества сбрасываемых шламов (б)

## Горная экология

Разработан способ повышения информативности спутниковых данных мониторинга динамики восстановления природных экосистем, нарушенных при освоении георесурсов, с использованием процедуры паншарпенинга в оптическом и тепловом диапазонах, обеспечивающей согласование пространственного разрешения данных спутниковых снимков Landsat с конструктивными размерами ограждающей дамбы складированных отходов рудообогащения. Согласование информации пяти из восьми спектральных каналов, формирующих спутниковый многоканальный снимок, характеризует информационную достаточность данных для верификации результатов мониторинга. На основании анализа данных многолетнего спутникового мониторинга установлен быстрый выход формирующегося фитоценоза на показатели фитоценоза окружающего природного ландшафта при реализации экоинвестиционного подхода к восстановлению природных экосистем в субарктических регионах.

Разработан методологический подход к исследованию закономерностей фитоценотической сукцессии при восстановлении природных экосистем, нарушенных при освоении георесурсов. На основе данных мониторинга динамики формирующегося фитоценоза показано, что все виды растений – доминантов имеют разный физиологический возраст в зависимости от местонахождения по высоте откоса, что, в совокупности, с трендом изменения площади фотосинтезирующих органов обеспечивает реализацию альтернативных (активной или пассивной) стратегий адаптации.

Разработаны компьютерная модель агрегации взвешенных минеральных частиц и алгоритм согласования результатов компьютерного моделирования с результатами изучения агрегации и седиментации тонкодисперсных отходов переработки минерального сырья по спутниковым данным загрязнения природных водоемов. Показано, что баланс электростатической силы отталкивания и дисперсионных сил притяжения проявляется в образовании агрегатов тонкодисперсных минеральных частиц с характерной фрактальной размерностью. Хорошее соответствие расчетных параметров агрегации и седиментации частиц с данными спутниковых наблюдений может быть использовано для мониторинга загрязнения водных объектов при адаптации технологий переработки минерального сырья к современным требованиям экологизации производства (рисунок 11).

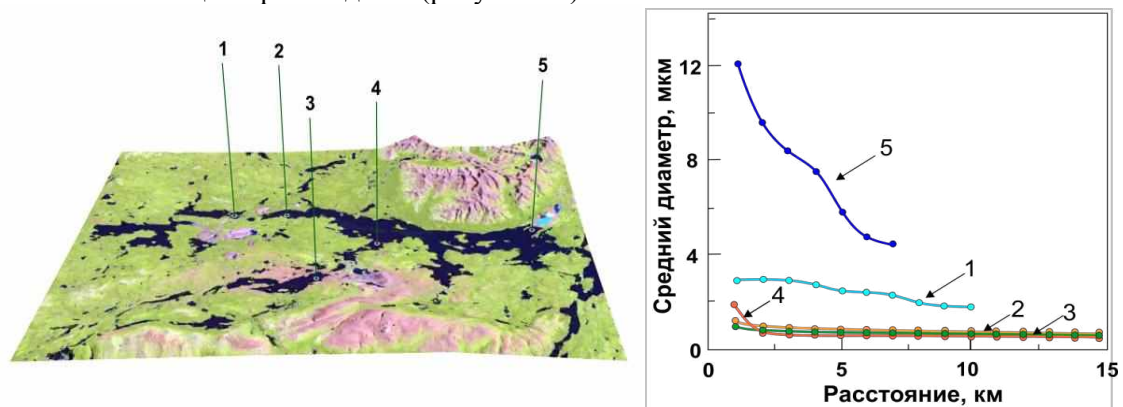


Рисунок 11– Расположение объектов исследования и зависимость среднего диаметра взвешенных частиц тонкодисперсных отходов переработки минерального сырья от расстояния до источника загрязнения 1 – озеро Колозеро, 2 – озеро Имандра (зуба Куреньга), 3 – озеро Мончезеро, 4 – озеро Имандра (зуба Монче), 5 – озеро Имандра (зуба Белая)

## 2.11. ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКОЛОГИИ СЕВЕРА – ОБОСОБЛЕННОЕ ПОДРАЗДЕЛЕНИЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ФЕДЕРАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЦЕНТРА «КОЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК» (ИППЭС КНЦ РАН)

Тема НИР «Процессы трансформации природных и техногенных систем в условиях изменения климата в Арктической зоне Российской Федерации (на примере Мурманской области)» (FMEZ-2022-0010; 122022400112-7)

Научный руководитель; *Макаров Дмитрий Викторович*, директор Института, доктор технических наук, ИППЭС КНЦ РАН

### 1.5.7. Горные науки

#### 1.5.7.2. Комплексная, технологически эффективная и экологически безопасная добыча, обогащение и глубокая переработка минерального сырья

**Сущность результата:** Экспериментально обосновано применение сульфата аммония в качестве высокоэффективного вскрывающего реагента при переработке сульфидных медно-никелевых руд, включая черновые флотационные концентраты, некондиционные руды и техногенное сырье. Низкотемпературный обжиг сырья с сульфатом аммония и последующее водное выщелачивание клинкера с извлечением цветных металлов в раствор является инновационным процессом, позволяющим значительно снизить выбросы загрязняющих веществ в атмосферу и регенерировать сульфат аммония для повторного использования.

**Новизна:** Оптимальная температура обжига, равная 400°C, существенно ниже температуры традиционных пирометаллургических процессов. Полученные при реализации данного метода сквозные извлечения никеля, меди и кобальта составляют для разных видов медно-никелевых продуктов 82-95%. Это значительно выше, чем для традиционной технологии. Предложенный способ является энергетически эффективным, экологически чистым и экономичным.

**Значимость:** Метод позволяет рентабельно перерабатывать сульфидные медно-никелевые руды с низкими содержаниями цветных металлов, а также техногенные продукты – хвосты обогащения и металлургические шлаки.

**Возможные сферы применения (при наличии инновационного потенциала):** Комбинированные обогатительно-металлургические технологии переработки медно-никелевых руд и техногенных продуктов.

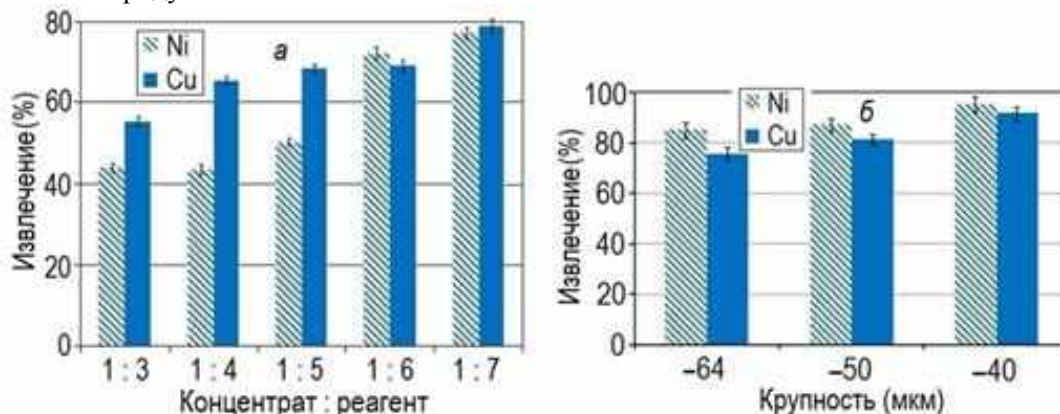


Рисунок 1 – Извлечение металлов в раствор после водного выщелачивания клинкера, полученного при температуре обжига 400°C в зависимости от массового соотношения черновой флотационный концентрат: сульфат аммония (а) и степени измельчения шихты (б)

#### Сведения об опубликовании:

1. *Goryachev A.A., Chernousenko E.V., Potapov S.S., Tsvetov N.S., Makarov D.V.* A Study of the feasibility of using ammonium sulfate in copper–nickel ore processing // *Metals*. 2021. V. 11. 422. (РИНЦ, WoS, Scopus).

2. *Горячев А.А., Беляевский А.Т., Макаров Д.В., Потапов С.С., Цветов Н.С.* Переработка медно-никелевых руд посредством низкотемпературного обжига в смеси с сульфатом аммония // *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. - 2022. - Т. 58. - № 3. С. 116-125. (РИНЦ, ВАК, RSCI).

## 1.5. НАУКИ О ЗЕМЛЕ

### 1.5.7. Горные науки

#### 1.5.7.4. Изучение и моделирование горнотехнических систем и процессов техногенного преобразования недр

Методом трехмерного численного моделирования выполнена оценка загрязнения атмосферы г. Апатиты, как результата пыления хвостохранилища АНОФ-2 КФ АО «Апатит»,

используя подход поинтервального распределения размера пыли при вариации скорости ветрового потока и площади пыления при случайном выборе из 20 дискретных участков пыления. Обобщенная функциональная зависимость позволяет прогнозировать концентрацию пыли в г. Апатиты (Мурманская область) в зависимости от скорости ветрового потока и площади пыления случайным образом выбранных дискретных участков на поверхности хвостохранилища, а также определять критическую площадь пыления, при которой уровень загрязнения атмосферы достигает предельно допустимых концентраций в зависимости от скорости ветрового потока (ИППЭС КНЦ РАН, 1.5.7.4.).

Применен подход дискретного расположения пылящих участков (рисунок 2) и их случайного выбора. Полное количество расчетов переноса пыли в терминах поинтервального распределения размера пыли от 0 до 70 мкм (с шагом 10 мкм) составит 1400. Указанное количество испытаний сгенерировано в предположении равномерного распределения случайных чисел, как в диапазоне площади пыления от 2 до 10 га, скорости ветрового потока от 5 до 23 м/с так и в нумерации участков пыления от 1 до 20. Для оценки вертикального потока массы (рисунок 3) использована зависимость Westphal D.L. et al.

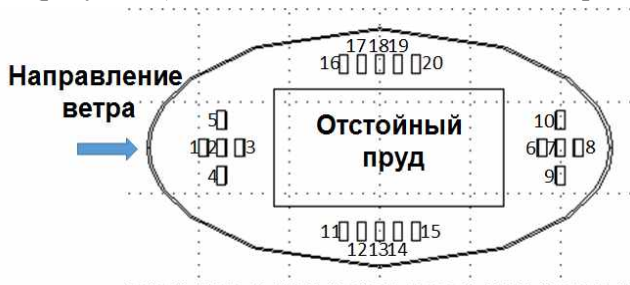


Рисунок 2 – Схематичное расположение на территории хвостохранилища участков 1-20 пылящей поверхности



Рисунок 3 – Вертикальный поток массы на участках пыления при скорости ветра 11 м/с, кг/(м<sup>2</sup>·с)

На рисунке 4 (а–д) представлены пространственные распределения суммарной детальной и усредненной (по числу вариантов сочетаний участков пыления) концентрации пыли на высоте +2 м от поверхности г. Апатиты в поперечном к направлению ветрового потока измерении при скорости ветрового потока 11 м/с и вариации площади пыления.

Обобщенное аналитическое выражение, позволяющее прогнозировать концентрацию пыли в центре г. Апатиты, как функцию площади пыления  $S$  (га) и скорости ветра  $V$  (м/с) имеет вид  $C_m = 10^{-12} \cdot (7,3973 \cdot S - 0,5245) \cdot V^{2,9874}$ . Анализ прогнозных значений уровней концентрации пыли в рассмотренном диапазоне параметров модели свидетельствует:

- наибольшее загрязнение атмосфера г. Апатиты в целом и его северная часть получает при пылении области хвостохранилища, ближайшей к предгорьям Хибин;
- для района Старые Апатиты (наиболее близко расположенного к хвостохранилищу) опасность представляет и область хвостохранилища, противоположная ближайшей к предгорьям Хибин;
- низкие уровни загрязнения атмосферы в г. Апатиты прогнозируются при пылении площади наиболее удаленной от города;







## 2.12. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ВСЕРОССИЙСКИЙ ИНСТИТУТ НАУЧНОЙ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ РАН

### *Выбор модели фронтальных колесных погрузчиков на карьере*

За счет возможности оснащения погрузчиков различными видами сменного оборудования (ковши различной емкости для различных грунтов и пород, ковши двухчелюстного типа, с боковой разгрузкой), насчитывающих до 20 наименований, фронтальные погрузчики находят самое широкое применение в строительной и добывающей отраслях благодаря своей доступности, универсальности и простоте.

Основными свойствами, способствующими широкому развитию и применению колесных погрузчиков, являются:

- отношение реальной грузоподъемности погрузчика к его массе в 2-2,5 раза выше, чем у гидравлических экскаваторов;

- удельная стоимость колесного погрузчика, отнесенная к одному кубическому метру емкости ковша, в 1,5-2 раза ниже, чем у гидравлических экскаваторов;

- более высокие показатели мобильности и маневренности, позволяющие выполнять одной машиной погрузочные и транспортные работы;

- сопоставимость величин отрывных усилий на режущей кромке ковша колесного погрузчика и гидравлического экскаватора (при равной емкости ковша); тем не менее, колесный погрузчик уступает гидравлическому экскаватору в реализации усилия отрыва по всей высоте забоя;

- близость значений коэффициента наполнения ковша у погрузчика и экскаватора, который обычно составляет 0,75-0,8, реже 1.0-1.1. [1].

Колесные фронтальные одноковшовые погрузчики занимают второе место в мире по объему рынка основных видов землеройной, строительной и горной техники (без учета малогабаритных мини-экскаваторов, мини-погрузчиков с бортовой схемой поворота).

Львиную долю импорта фронтальных погрузчиков составляет новая техника. Так, по итогам прошедшего года ее доля составила 93,9%. Погрузчики, уже бывшие в эксплуатации, соответственно заняли 6,1% от общего объема. Годом ранее данное соотношение было 95,4 и 4,6% в пользу новой техники.

Тройка лидеров стран – производителей фронтальных погрузчиков, импортируемых в Россию, последние два года остается неизменной. Это Китай, США и Чехия.

В настоящее время более 80% импортных машин этого типа, продающихся в России, изготавливаются в Китае, где располагаются производственные мощности основных гигантов отрасли. Из всего объема фронтальных погрузчиков из КНР примерно 20% составляют легкие машины массой от 3 до 9 т, 33 и 35% соответственно приходится на сегменты грузоподъемностью (г/п) 3 и 5 т, примерно 10% занимают тяжелые погрузчики массой до 25 т. Нельзя не отметить развитие фронтальных погрузчиков российского производства, которое стало возможным, в том числе благодаря мерам государственной поддержки отрасли [2].

### *Практические рекомендации по эксплуатации фронтальных колесных погрузчиков*

Погрузчик — это по сути колесная самоходная машина, у которой основной частью является рама, состоящая из двух полурам — передней и задней, соединенных между собой двумя шарнирами. На задней полураме расположены основные узлы и агрегаты, например, двигатель, кабина оператора, топливный и гидравлический баки и другое оборудование. На передней полураме — погрузочное оборудование. Оно представляет собой классическую Z-образную схему, что позволяет развивать большие вырывные усилия.

От правильной подборки оборудования в соответствии с выполняемой работой зависит производительность погрузчика. Неправильный выбор ковша может стать причиной ускоренного износа всех компонентов передней части машины. Если такой ковш входит в грунт с повышенным усилием, пальцы и втулки крепления стрелы и ковша испытывают чрезмерные нагрузки. Двигатель также работает на более напряженных режимах, расходуется больше топлива.

### *Размерность и тип шин*

Колесные фронтальные погрузчики оснащаются «внедорожными» шинами, предназначенными для интенсивного использования на неровных и неблагоприятных для движения поверхностях.

Важно правильно подобрать шины к условиям работы погрузчика по рисунку протектора и типу. Радиальные шины обеспечивают хорошую плавность движения и высокое тяговое усилие, что улучшает управляемость машины. Если рисунок протектора не подходит для работы на данной поверхности, они могут пробуксовывать. Шина с внедорожным рисунком протектора, обеспечивающая отличное сцепление на слабом грунте, будет быстро изнашиваться при езде по твердым покрытиям. Установив шины с внедорожным протектором на полноприводный погрузчик, мы ухудшим топливную экономичность и производительность машины. На глубоком снегу они, конечно, помогут, но в остальные 90% рабочего времени будут только ухудшать ходовые свойства погрузчика.

Радиальные шины обычно используются на фронтальных погрузчиках, эксплуатационная масса которых вместе с грузом превышает 40 т. Наиболее распространены у фронтальных погрузчиков современные диагональные шины, которые вполне соответствуют всем требованиям по нагрузкам, износостойкости и прочности. Самое главное преимущество диагональной шины перед радиальной – цена, которая часто на 20–40% ниже, при этом ходимость и надежность диагональной шины в зависимости от условий эксплуатации погрузчика может соответствовать показателям радиальной шины.

Обычно шины, которыми комплектуются фронтальные погрузчики, имеют диаметр от 48 до 63 дюймов (1219–1600 мм), ширину от 12 до 25 дюймов (305–635 мм), а глубина рисунка протектора составляет от 22 мм для самых легких шин этого класса и до 31 мм для самых мощных и тяжелых.

Коэффициент готовности и производительность погрузчика в определенных условиях можно увеличить за счет подбора специальных шин, предназначенных для данных тяжелых условий и труднопроходимой местности. Если правильно подобрать для погрузчика шины с рисунком протектора «высокой проходимости» или более широкие, чтобы не проваливались на слабом грунте, то производительность погрузчика увеличится. Также, если правильно подобрать монолитные шины для езды по острым скалам или металлोलому, можно увеличить надежность машины. [3].

#### ***Трансмиссия экскаватора-погрузчика – важнейший фактор его эффективности***

Точность и качество управления погрузчиком, его маневренность во многом зависят от используемого типа трансмиссии. В современных машинах используются два основных вида: гидродинамическая трансмиссия, которую также называют гидромеханической, и гидростатическая, или гидрообъемная.

В современных погрузчиках используются в основном гидравлические трансмиссии – гидродинамические и гидростатические (гидрообъемные).

В устройстве гидродинамической трансмиссии основную роль играют лопастные динамические насосы и турбины. Мощность передается напрямую, с помощью гидромолы или гидротрансформатора. Это обуславливает и возможность передачи большей мощности, чем может передать аналогичная гидростатическая трансмиссия.

Второй тип трансмиссии – гидростатическая: от гидронасоса вращение передается на гидромотор, приводящий в движение колеса. Она характеризуется простотой обслуживания, широкими функциональными возможностями, имеет компактные размеры и небольшую массу. Благодаря сравнительно простой конструкции с минимальным числом элементов гидростатическая трансмиссия очень надежна [4].

#### ***Рекомендации по выбору погрузчика***

При выборе модели необходимо учитывать многие факторы- это капитальные и эксплуатационные затраты, экологические и эргономические показатели, фактические сроки службы машин, вопросы безопасности, причем проводить подробный анализ нужно применительно к особенностям конкретного месторождения.

Сложность при выборе конкретной модели заключается в разнообразии целей, предъявляемых потребителями техники, большом количестве производителей техники и моделей машин, имеющих сопоставимо равные технические характеристики. Возникают трудности экономического обоснования выбранного варианта из-за сложности точного расчета затрат на эксплуатацию, которая превышает стоимость машины в 2–5 раз за период эксплуатации.

Что касается по каким критериям выбирать, то здесь существуют разные подходы. Например, по опросам фирмы Caterpillar выяснили, что 76% представителей горнодобывающих предприятий на первое место ставят производительность и высокий уровень технической готовности, определяемый надежностью; 63% особое значение придают долговечности и уровню дилерского обслуживания; 44% выделяют цену продукции и уровень обеспеченности запасными частями; 20–35% считают очень важными продолжительность рабочего цикла, возможность самостоятельного проведения капитального ремонта, наличие комфортных условий для работы оператора, продолжительность гарантийного срока, сроки амортизации, уровень эксплуатационных затрат, а также престижность фирмы-изготовителя.

Выделим главные, которые на наш взгляд представляют интерес.

### ***Выбор типоразмера***

Очень важно правильно подобрать типоразмер машины для данной работы, особенно если погрузчик встроен в технологическую цепочку и от его работы зависит, как будут выполняться другие работы в цепочке – перед ним и после него. Если машина будет чрезмерно большой, ей придется много времени простаивать без работы, а если будет слишком мала, она не сможет обеспечить необходимую производительность и будет тормозить всю технологическую цепочку.

### ***Техническая надежность***

Высокая надежность предполагает не только надлежащий уровень технической готовности, но и минимальный объем потребления запасных частей, продолжительную безаварийную службу основных узлов и агрегатов. Особое значение этот фактор имеет при работе на удаленных и труднодоступных месторождениях.

Большинство горных компаний ориентируется на оборудование ведущих мировых фирм – Caterpillar, Komatsu, Hitachi, Volvo, Liebherr. Некоторые предприятия, особенно в Сибири и на Дальнем Востоке, отдают предпочтение южнокорейским (Hyundai, Doosan) и китайским производителям, которые в большинстве своем копируют американское и японское оборудование.

Коэффициент технической готовности оборудования Caterpillar и Komatsu составляет 0,92–0,95, южнокорейского – 0,80–0,85. Показатель наработки на отказ китайского оборудования несколько ниже, а российское оборудование уступает лучшим образцам из Китая.

Сроки службы американского и японского оборудования достигают 17–25 лет, отечественного 5–20 лет (в зависимости от типа оборудования и условий эксплуатации). При этом следует учесть, что горнотранспортное оборудование российского производства наиболее эффективно работает в течение первых 3–5 лет, в дальнейшем резко возрастает его аварийность, простой.

Большое значение имеет состояние дорог, что позволяет оптимизировать систему технического обслуживания, снизить затраты на складирование запчастей, проводить сервисные работы в штатном режиме. В то же время значительная часть горных предприятий России расположена в труднодоступных районах, куда доставка материально-технических ресурсов осуществляется по зимникам в ограниченный период времени. В этих случаях целесообразно отдавать приоритет погрузчикам на гусеничном ходу.

У гусеничных погрузчиков лучше сцепление с грунтом и выше тяговое усилие. Они более устойчивы, чем колесные. Гусеницы лучше работают на крутых склонах, высокоабразивных грунтах и твердых скальных, меньше повреждают мягкую почву и травяной покров.

Колесные машины дешевле при покупке и в эксплуатации по сравнению с гусеничными. Они движутся более плавно. Колесный погрузчик может иметь привод на два или четыре колеса. Неполноприводная машина легче, у нее меньше сила сцепления с грунтом, но зато меньше и сопротивление качению. С другой стороны, полноприводные машины устойчивее и даже безопаснее, что важно для оператора.

Одним из важнейших показателей является проходимость. Анализируя, в каких условиях будет работать погрузчик, возможно, на труднопроходимой местности, слабом скользком грунте – тогда нужно подбирать модель с полным приводом 4x4 (постоянным или подключаемым), с дифференциалом повышенного трения или со 100%-ной блокировкой, чтобы обеспечить более высокое тяговое усилие и уменьшить износ шин в результате пробуксовки [5].

### ***Производительность и мощность***

Для обеспечения максимальной производительности горного оборудования надо тщательно изучать условия, в которых ему предстоит работать. Как правило, техника одной мощности различных компаний имеет примерно равную производительность при работе в одинаковых условиях.

Большая единичная мощность оборудования в условиях существенного роста оплаты труда квалифицированного персонала позволит сэкономить на зарплате, техническом обслуживании и упростит организацию работ.

### ***Стоимость и сервисное обслуживание***

Приобретение недорогого оборудования вовсе не означает экономию. Как правило, такая техника проигрывает более качественным аналогам в производительности, надежности, сроках службы, долговечности отдельных узлов, экономичности. Разница в этих показателях за период эксплуатации может достигать значений, сопоставимых с ценой самого оборудования. Поэтому при выборе техники требуется не только учитывать первоначальную стоимость, но и оценивать последующие затраты.

Исследования показывают, что в первые 3–4 года ежегодная доля затрат на технический сервис, включая затраты на запчасти, не превышает 20% от первоначальной стоимости оборудования. Но уже на 7-й год их доля возрастает до 48%. Общие затраты на сервис за первые 5–6 лет эксплуатации сравниваются по стоимости с первоначальной стоимостью оборудования.

Очевидно, что когда расходы на сервис превосходят разумные пределы, целесообразно рассматривать вопрос о приобретении нового оборудования, а старое утилизировать.

Создание сервисных центров, профессиональное обслуживание эксплуатируемой горной техники и оборудования, обеспечение их запчастями в короткие сроки, современные технологии ремонта позволят существенно снизить затраты и в итоге себестоимость конечной продукции самого потребителя [6].

### ***Унификация оборудования***

При приобретении новой техники важно предусмотреть все условия его эффективной эксплуатации в будущем. Одним из таких условий является максимальная унификация применяемого оборудования, что позволяет сократить номенклатуру запасных частей, упрощает проведение технического обслуживания и ремонтов. Этому требованию в наибольшей степени отвечает оборудование компаний Caterpillar и Komatsu, имеющих практически полную линейку. Китайские компании также могут предоставить почти полную линейку оборудования, но говорить о едином типовом ряде в этом случае не приходится – производителями выступают десятки самых разных цехов и заводов.

Таблица

**Технические характеристики фронтальных погрузчиков**

Компания	Модель	Эксплуатационная масса, т	Мощность двигателя, кВт	Макс. грузоподъемность, кг	Высота выгрузки ковша, мм	Вместимость ковша, м <sup>3</sup>
ЗДМ	ДМ-34 «Волжанин»	10,5	90,4	3400	2904	1,9
Terex	TL120	7–7,6	74,4	2200–2500	2860	1,2–1,8
RM-Terex	TL150	14,5–16,5	140	5000	3150	3,0
JCB	422ZX	11,9	93	3300	2806	1,7
	457ZX	19,3–21,7	184	3900–6500	2782–4034	2,8–3,5
Hitachi	ZW310-6	22,4	220	6700–8800	2960–3640	3,4–4,2
Hidromek	HMK640WL	26,3	242	8510	2850	4,2
Hyundai	HL975	26,5–27,3	247	7850–10 000	3120–3485	4,8
Case	521F	10,4–11,2	98	3,5	2592–3142	1,5–2,1
	821F	17,6	158	6,2	2815–3437	2,8–3,4
	1121F	27	259	9,0	3183–3717	4–5

Компания	Модель	Эксплуатационная масса, т	Мощность двигателя, кВт	Макс. грузоподъемность, кг	Высота выгрузки ковша, мм	Вместимость ковша, м <sup>3</sup>
MoA3	MoA3-40483	28,5	264	7500	3335	4,4
Liebherr	L514 Stereo	8,9	78	2880	2915–3170	1,5
	L518 Stereo	9,2	78	3280	2835–3140	1,7
	L586	32,6	260	10 800	3260–3290	6
Doosan	DL200-5	11,7–11,9	106	3595–4815	2685–3347	2
	DL250TC-5	13,7–14,3	128	3890–5440	2749–3270	2,5
	DL450-5	25,7–26,1	257	8590–10 300	3105–3730	4–4,8
	DL550-5	32,8	283	9340–13 260	3285–3830	4,5–5,7
Volvo CE	L260H	34,8	290	н.д.	3100	7,3
	L350H	50–54	394	17 390	н.д.	6,2–12,7
Caterpillar	986K	44,8	278	10 000–12 700	3079–3538	5–10,3
	988K XE	52,8–54,3	403	11 300–14 500	3445–3882	4,7–13

### *Соответствие природным и климатическим условиям данного месторождения*

Множество горных предприятий России работает в экстремальных северных условиях. Оборудование, изготавливаемое в специальном арктическом исполнении, рассчитано на работу при температурах не ниже  $-45^{\circ}$ , но на практике порой приходится работать и при более сильных морозах. Многолетний опыт круглогодичной эксплуатации горного оборудования на предприятиях Колымы и Якутии показывает, что в этом случае резко возрастает аварийность, снижается межремонтный пробег.

Первые массовые поставки техники западных производителей для горных предприятий российского Севера выявили недостатки в стандартных спецификациях и потребовали переосмысления самого подхода к северной тематике. Надо отдать должное фирмам-поставщикам (в основном это была техника Caterpillar и Komatsu): они быстро нашли верный подход к решению возникших проблем, основанный на тесном взаимодействии с заказчиками.

Сегодня Caterpillar и Komatsu всю свою продукцию могут поставлять в северной комплектации, детали которой совершенствовались многие годы. Поэтому вряд ли можно говорить, что с техникой этих фирм может успешно соперничать, например, южнокорейское оборудование, основными рынками для которого до сих пор были Юго-Восточная Азия и Австралия, или китайская техника, в большей степени ориентированная на внутренний рынок с более благоприятными условиями эксплуатации, чем в России.

Важно проанализировать рентабельность эксплуатации будущего погрузчика, связанная с ожидаемым сроком службы, а также удобство его использования со всех точек зрения. По подсчетам экономистов, при расстоянии транспортировки до 180–300 м экскаватор с самосвалом целесообразнее заменить пневмоколесным погрузчиком, что позволит при равной производительности значительно снизить эксплуатационные и технологические затраты.

Наряду с достоинствами пневмоколесных фронтальных погрузчиков необходимо отметить их недостаток: сравнительно небольшое напорное усилие у моделей малой и средней мощности.

### **Список литературы**

1. Обзор рынка одноковшовых колесных погрузчиков. // Горная промышленность. - 2006. - №6.
2. **Третьяков Р.** Фронтальные погрузчики сегодня и завтра. // Основные средства. – 2020. - №2. - С. 22-24.
3. **Шляховой В.** Анализируйте, оценивайте, определяйтесь. Вопросы выбора фронтальных погрузчиков. // Основные средства. – 2018. - №11.
4. **Протасов Н.** Фронтальные погрузчики. Обзор российского рынка // Основные средства. – 2018. - №10. - С.64-70.
5. **Орлов В.** Ковш и спереди, и сзади. // Основные средства. – 2020. - №2. - С. 26-31
6. **Луняшин П.Д.** Техника для карьеров: искусство выбора. // Основные средства. – 2020.- №2. - С.68-72.



7. **Мишанов В.А., Стрижак Ю.П., Вербич Е.А.** Большие фронтальные погрузчики CATERPILLAR – резерв для повышения производительности ГОКов. // Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2018: Международная научно-практическая конференция, Санкт-Петербург, 12-13 апр., 2018: Сборник тезисов. С.-Петербург. горн. ун-т. СПб. 2018, С. 122-124.

### **2.13. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ ДВО РАН**

1. Выполнены исследования по распределению РЗЭ и Au в золе уноса в углях Переяславского и Ерковецкого месторождений, сжигаемых на Благовещенской ТЭЦ, и в отдельных продуктах сгорания (шлак, зола уноса, шлам и др.) на авторском Экспериментально-технологическом комплексе (ЭТК) «Амур». При сжигании угольной смеси этих месторождений на ТЭЦ, в золе уноса, улавливаемой электрофильтром (ЭФ), среднее содержание РЗЭ составило 399,42 мг/кг, а Au - 0.29 мг/кг, при величине потерь, соответственно, 29% и 97,78%. В отдельных продуктах сгорания, полученных при сжигании углей Ерковецкого месторождения на ЭТК «Амур», РЗЭ довольно равномерно распределены в шлаке и шламе (501.08–388.62 мг/кг) с повышенными значениями (до 523.63 мг/кг) в золе уноса. Золото при низких содержаниях (0.01 мг/кг) установлено во всех фракциях.

**Dugin S.V., et al.** // Energy Exploration and Exploitation. 2022. 40(4). P. 1236-1251. <https://doi.org/10.1177/01445987221078054>.

2. В процессе экспериментальных исследований при фторидно-аммониевой переработке золы-уноса Ерковецкого месторождения, полученной на ЭТК «Амур», разработана эффективная инновационная технология комплексной переработки различных типов золошлакового сырья с получением аморфного кремнезема, мелкозернистого глинозема, красного железистооксидного пигмента и редких металлов. Предлагаемая технология замкнутого цикла по воде и дополнительным реагентам, предусматривает систему регенерации с удалением твердых отходов на последующую переработку.

**Римкевич В.С. и др.** // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. - 2022. - № 3. - С. 126-135. <https://doi.org/10.15372/FTPRPI20220313>.

3. Исследованы условия формирования металлоносных углей в зоне сопряжения Зейско-Буреинского бассейна и Туранского (Буреинского) массива в период активизации неотектонических движений (палеоген-неоген). Изучены морфология, коры выветривания, уровень эрозийного среза питающих провинций Туранского массива, режим основных речных систем, дренирующих области сноса. Проведена оценка углей Ерковецкого и Райчихинского месторождений в качестве сырья для редкоземельных элементов и способы извлечения их из углей и продуктов их сгорания.

4. Исследованы минеральные комплексы первичных углей Райчихинского месторождения и продуктов их сгорания. Установлено: 1. Во фракциях, выделенных из первичных углей, присутствуют обломки горных пород и рудных минералов. Среди последних выявлены апатит, сфен, магнетит, циркон, ильменит, гранат, корунд, эпидот, серицит, хлорит, арсенопирит и др. Дополнительно, с помощью SEM/EDS анализа, были обнаружены пирротин, галенит, микросферы фламбоидального пирита. 2. В продуктах сгорания углей установлен схожий минеральный состав с дополнением из частиц самородной меди, золота, серебра, гематита, геденбергита, сплавов Pb-Sn и Cu-Sn. 3. Большинство вышеприведенных минералов присутствует в питающих провинциях Туранского массива, что подтверждает их связь в качестве исходных продуктов, поступивших в угли в процессе миграции.

**Дугин С.В.** // Материалы Шестой Всерос. науч. конф. с междунар. участием, 04–07 октября 2022, Благовещенск: сб. докладов. г. Благовещенск: ИГиП ДВО РАН. - 2022. - С. 79-81.

5. Экспериментально и теоретически исследованы сравнительные характеристики и особенности распределения полезных компонентов между летучим компонентом и нелетучим осадком в процессе обогащения золошлакового техногенного сырья предприятий теплоэнергетики и ЭТК «Амур» под действием используемых химических реагентов: фторидов аммония, аммиачной воды и раствора соляной кислоты. Разработана общая малоотходная эффективная инновационная технология физико-химической переработки электромагнитной фракции

угольной золы Благовещенской ТЭЦ и золы-уноса ЭТК «Амур» с комплексным получением различных рудных и нерудных микрокомпонентов.

**Римкевич В.С. и др.** // Материалы Шестой Всероссийской научной конференции с международным участием, 04–07 октября 2022, Благовещенск: сб. докладов. г. Благовещенск: ИГиП ДВО РАН. - 2022. - С. 107-110.

## **2.14. НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ «МЕХАНОБР-ТЕХНИКА»**

Научно-производственная корпорация «Механобр-техника» (Санкт-Петербург) в 2022 году выполняла как плановые НИР и ОКР в рамках грантов РНФ и РФФИ, так и поддерживающие исследования для разработки и поставок нового горно-обогажительного оборудования.

В рамках сотрудничества с РНФ успешно завершена комплексная работа по созданию промышленного многофункционального грохота-сепаратора для предварительного обогащения твердых бытовых отходов и многотоннажных отсеков индустрии природных строительных материалов. Вибрационный грохот-сепаратор создан на базе инерционного виброгрохота ГИС-62 конструкции «Механобр-техники» с принципиально новой просеивающей поверхностью сложной формы и новым приводным вибрационным блоком. Оба технических решения защищены патентами РФ. Результаты промышленных испытаний показали, что эффективность классификации новой промышленной машины существенно превышает показатели действующих аналогов, а также обеспечивает почти двукратную экономию производственных площадей при их установке. Выполненные разработки перешли в стадию эффективной коммерциализации.

В рамках сотрудничества РФФИ выполнен очередной плановый этап работ по сухому шаровому измельчению никелевой стружки с целью получения тонкого материала для аддитивных технологий и порошковой металлургии. Показано, что наиболее высокие показатели достигаются при измельчении в восстановительной среде аммиака в сочетании с добавками твердых гетерополярных интенсификаторов измельчения, например, стеариновой кислоты, препятствующих релаксации (по механизму микронаклепа) микротрещин пластичных металлов типа никеля.

## **2.15. ИНСТИТУТ ГОРНОЙ ГЕОМЕХАНИКИ И ГЕОФИЗИКИ - МЕЖОТРАСЛЕВОЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР ГЕОМЕХ**

### **Горное недроведение**

#### ***Геомеханика***

В 2022 г. выполнение научно-исследовательской работы по изучению свойств и состояния угольного пласта склонного к горным ударам осуществлялось на шахте «Северная» АО «Ургалуголь» в условиях отработки пласта В<sub>26</sub>. Исследования проводились на регулярной основе, семь лет, а в качестве меры контроля напряженно-деформированного состояния массива использовался геофизический мониторинг с помощью фиксации естественной электромагнитной эмиссии (ЕЭМИ).

Применение геофизических методов контроля удароопасности определяется их технологичностью, что и позволяет в процессе их внедрения разрабатывать схемы измерения с учетом горно-геологической и горнотехнической обстановки на шахте.

При оценке степени удароопасности, используемым геофизическим методом, учтены физико-механические свойства и особенности залегания горных пород на различных участках проведения наблюдений. Эти изменения обусловлены различием в литологическом составе, структуре, пористости, влажности, микро- и макротрещиноватости и даже при незначительном изменении их абсолютных значений, они оказывают существенное влияние на регистрируемые геофизические параметры угольных пластов и вмещающих пород.

Своевременно подготовленные специалисты шахты, наработанные методики, опытно-методически работы по оценке величины НДС позволяют перевести мониторинг напряженно-деформированного состояния массива на новый уровень ответственности, что необходимо при

переходе горных работ на глубины, с которых пласты относятся к угрожаемым по динамическим явлениям.

В текущем периоде режимных наблюдений горные работы велись на угрожаемом по горным ударам пласте В<sub>26</sub>. В итоге анализа данных наблюдений, расчетный метод установления границы удароопасности по глубине ведения горных работ был подкреплен периодическим мониторингом и текущей оценкой геодинамического состояния массива горных пород в местах ведения работ и в выработках выемочных участков, выработках общешахтного назначения и в местах установленных опасных зон. Мониторинг проводится в рамках обеспечения контроля работы очистных и подготовительных забоев в приближенных к границе удароопасности областях.

### ***Подземная геотехнология***

При разработке дополнений к «Технологическому регламенту крепления горных выработок в условиях Яковлевского месторождения» были разработаны и согласованы программы-методики промышленных испытаний несущей способности анкерной крепи типа СЗА, СПА, АКМ в различных сочетаниях (с сеткой, армокаркасом) при креплении рудных бортов в выработках рабочих слоев с прямоугольным сечением для всех типов руд.

Первый этап данной НИР включал в себя сбор и анализ горно-геологической и технической документации, а также разработку, составление и согласование Программы-методики промышленных испытаний несущей способности анкерной крепи типа СЗА, СПА, АКМ в различных сочетаниях при креплении рудных бортов в выработках рабочих слоев с прямоугольным сечением для всех типов руд.

В рамках второго этапа, согласно технического задания, был выполнен расчет устойчивости сопряжения в рудном массиве, также был пересмотрен действующий «Технологический регламент крепления...» в части разработки требований к креплению сопряжений выработок в рудном массиве анкерной крепью типа СЗА, СПА, АКМ и анкерной крепью в комбинации с торкретбетоном, дополнительно определены параметры и конструкция ограждающей крепи с применением выдвижных металлических стоек для крепления выработок рабочих слоев по опыту угольных шахт, и определены параметры крепи типа для горно-капитальных и горно-подготовительных выработок.

Полученные результаты научно-исследовательской работы используются при планировании и проектировании горных работ на Яковлевском руднике.

Дополнение к Технологическому регламенту распространяется на горно-капитальные, горно-подготовительные выработки в рудном и породном массиве, нарезные и очистные выработки в рудном массиве.

### ***Теория проектирования освоения недр***

Продолжалось выполнение обоснований «Указаний по охране рудника от затопления и по определению параметров камерно-столбовой системы разработки Анастасово-Порецкого гипсово-ангидритового месторождения».

Согласно календарному плану года работа выполнялась по пяти этапам:

1. Оборудование дополнительных наблюдательных станций в панелях и проведение контрольных наблюдений на существующих и новых станциях.
2. Исследование процессов расслоения пород кровли камер и деформаций целиков в разных геологических условиях.
3. Уточнение параметров камерно-столбовой системы разработки на основе данных инструментальных наблюдений.
4. Расчёт радиусов опасных по прорывам воды зон на обводнённых участках рудника.
5. Разработка рекомендаций по контролю и предотвращению повторных прорывов воды в зонах вскрытия обводнённых слоёв и тектонических трещин.

В результате разработаны рекомендации по мерам безопасности на отработанных участках в зоне эрозии кровли промышленной залежи, в зонах распространения водоносного доломитового слоя, на участках залегания слоя с водопротящими контактами и в зонах обводнённых тектонических трещин. Даны рекомендации по форме кровли очистных камер и по поддержанию кровли камер по исследуемому пласту. Также институтом выданы рекомендации по охране рудника от затопления, предусматривающие оставление барьерных целиков вокруг геологоразведочных скважин. Эта мера охраны является главной вследствие того, что

ряд случаев прорыва подземных вод в выработки рудника связана непосредственно с геолого-разведочными скважинами, которые пересекают водопроводящие трещины.

Дальнейшие научно-исследовательские работы на данном месторождении должны быть направлены:

1. На изучение прогибов и расслоения пород кровли камер в пластах I и III, особенно в зонах эрозии кровли промышленной залежи.

2. На организацию работ по оборудованию наблюдательных станций для измерения деформаций целиков в течение длительного срока по разработанному институтом специальному проекту.

3. На обобщение практического опыта определения границ опасных зон, накопленного за весь период отработки месторождения.

4. На разработку проектов отработки панелей рудника (при участии проектных организаций и специалистов ООО «ГИПОР-М») с учётом рекомендаций института по параметрам системы разработки и мерам охраны рудника от затопления.

#### ***Физико-техническая геотехнология***

Проведены исследования возможности использования анкерного крепления для поддержания вентиляционной сбойки северной лавы удароопасного угольного пласта Верхний Баренцбургского месторождения в особо сложных условиях опорного давления лавы. Параметры анкерного крепления предложены с учетом: во-первых, расчетных показателей, полученных в соответствии с требованиями Федеральных норм и правила в области промышленной безопасности «Инструкция по расчету и применению анкерной крепи на угольных шахтах Российской Федерации»: во-вторых, анализа фактических смещений, зафиксированных в ходе многолетних режимных наблюдений деформационным методом контроля (фиксация конвергенции кровля-почва с помощью контурных реперных станций в очистных забоях южного крыла шахтного поля и северного крыла шахтного поля. Предложена схема реализации текущих наблюдений. Это позволит своевременно корректировать параметры крепления в различных режимах работы крепи. Для изучения характера деформирования боковых пород на контуре вентиляционной сбойки северной лавы рекомендованы к заложению в выработку наблюдательные реперные станции типа «кровля-почва» (контурные репера) на всем протяжении с установленным интервалом.

Реализованы комплексные исследования в рамках обеспечения геодинамической безопасности отработки удароопасного угольного пласта Верхний Баренцбургского месторождения.

Используемые инструменты деформационных и геофизических методов контроля обеспечивают своевременное оповещение о состоянии горного массива и о переходе его к критическим величинам по параметрам нагружения и деформирования. Функциональная возможность применения этих методов вместе с гибкой схемой временных диапазонов между замерами позволяет в кратчайшие сроки расширить область контроля рисков при выявлении новых объектов негативных процессов.

Своевременная оценка рисков, свойственных текущим горно-геологическим и горнотехническим условиям, состоит во всестороннем, многопараметрическом исследовании состояния горного массива (деформационный (локальный), микросейсмический (региональный) и электромагнитный (локальный)). Результатами исследований обеспечивается применение технических и технологических решений, не приводящих в процессе ведения горных работ к росту рисков геомеханической и геодинамической природы.

Исследования по приведенным методикам с анализом текущих горно-геологических и горнотехнических условий отработки пласта Верхний Баренцбургского месторождения и моделированием дезинтеграционных процессов позволяет разрабатывать и внедрять комплексные мероприятия по предотвращению горных ударов и повышать безопасность работ в части контроля и борьбы с ГДЯ. Также этому способствует своевременная оценка рисков, разработка методик исследований и внедрение оптимального количества методов геофизического и деформационного контроля, отвечающих уровню рисков и совокупному влиянию природных и техногенных факторов с многопараметрическим контролем состояния массива горных пород.

#### ***Практическая реализация результатов исследований***

В 2022 г. продолжалась реализация результатов исследований. Заключение и рекомендации выдавались, для условий практически всех угольных, рудных и нерудных месторождений

на территории Российской Федерации и для проектных организаций по различным вопросам в области безопасной добычи угля подземными и открытыми горными работами.

Так, научно-технические работы были выполнены для условий шахт Ростовской области в части оценки степени влияния горных работ, возможного влияния шахтных вод ликвидированных шахт на техническое состояние жилых домов и построек, расположенных на подработанных территориях.

В рамках рабочей группы Минэнерго России институт принял участие в разработке «Методических рекомендаций по проведению анализа опасностей и риска аварий на угольных шахтах».

В условиях Яковлевского рудника выполнялось научное сопровождение опытно-промышленных испытаний опытных образцов арочных податливых металлических крепей из гнутых профилей производства ПАО «Северсталь», по результатам которых разработано заключение о возможности применения крепи в условиях данного рудника.

Проведены маркшейдерские замеры объемов вскрышных работ на месторождении «Волковское».

Выполнен геомеханический мониторинг устойчивости бортов ликвидируемого разреза «Коркинский» и научное обеспечение процесса его ликвидации.

Осуществлялось научно-консультационное сопровождение работ при реализации проекта ликвидации отработанной выработки угольного разреза «Коркинский» с разработкой рекомендаций по предотвращению деформационных явлений.

Проведены расчеты коэффициента запаса устойчивости борта карьера с учетом оценки физико-механических свойств массива горных пород и создание геомеханической модели Михеевского месторождения.

## **2.16. ЯКУТСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ И ПРОЕКТНЫЙ ИНСТИТУТ АЛМАЗОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ АК «АЛРОСА» (ПАО)**

В 2022 г. в институте «Якутнипроалмаз» АК «АЛРОСА» (ПАО) в рамках тематического плана НИР продолжалось проведение исследований, направленных на совершенствование и создание новых технологий в области открытых и подземных горных работ, обеспечивающих повышение производительности добычи алмазосодержащих руд и снижение эксплуатационных расходов.

### **I. Изменение проектных параметров построения борта карьера «Юбилейный»**

*Работа выполнена: руководитель, зав. лабораторией ООГР Валентинов В.А., глав. специалист - Морозова Е.Б., зав. лабораторией геомеханики, к.ф.-м.н. Бокий И.Б.*

По результатам, выполненным при изучении разломно-блокового строения и районирования вмещающих пород трубки «Юбилейная», вскрытых уступами карьера и поставленных в конечное положение бортов, а также с учетом фактического состояния уступов борта выполнена корректировка «Технического проекта отработки запасов месторождения трубки Юбилейная открытым способом».

Построение конечного контура карьера в проектных конструктивных параметрах с углами откосов обеспечивающими в текущем состоянии одновременно безопасную эксплуатацию и сохранение нормативных (проектных) потерь рудного сырья не представляется возможной. Корректировка конструкции борта заключалась в выборочном по секторам, в зависимости от ФМС пород, слагающих борт (рисунок 1) изменении параметров углов постановки уступов в конечное положение, применении полигонального профиля высоких уступов (30-60 м).

### **Конструктивные параметры борта карьера**

На рисунках 2-4 приведены конструктивные элементы построения нового контура карьера с учетом ФМС пород по секторам, разломно-блокового районирования борта и с учетом существующих или потенциальных зон локальных обрушений и вывалов породы.

На рисунке 2 приведена схема западного участка борта где основной зоной ослабления является приконтактная зона западного рудного тела с вмещающими породами. Высота уступов в данной зоне от 30 до 60 м, угол постановки уступа 70-80°, а с гор. +80 м отстраивается полигональный уступ высотой 60 м под 70° (верхняя 3/4 высоты) и 90° (нижняя 1/4 высоты).



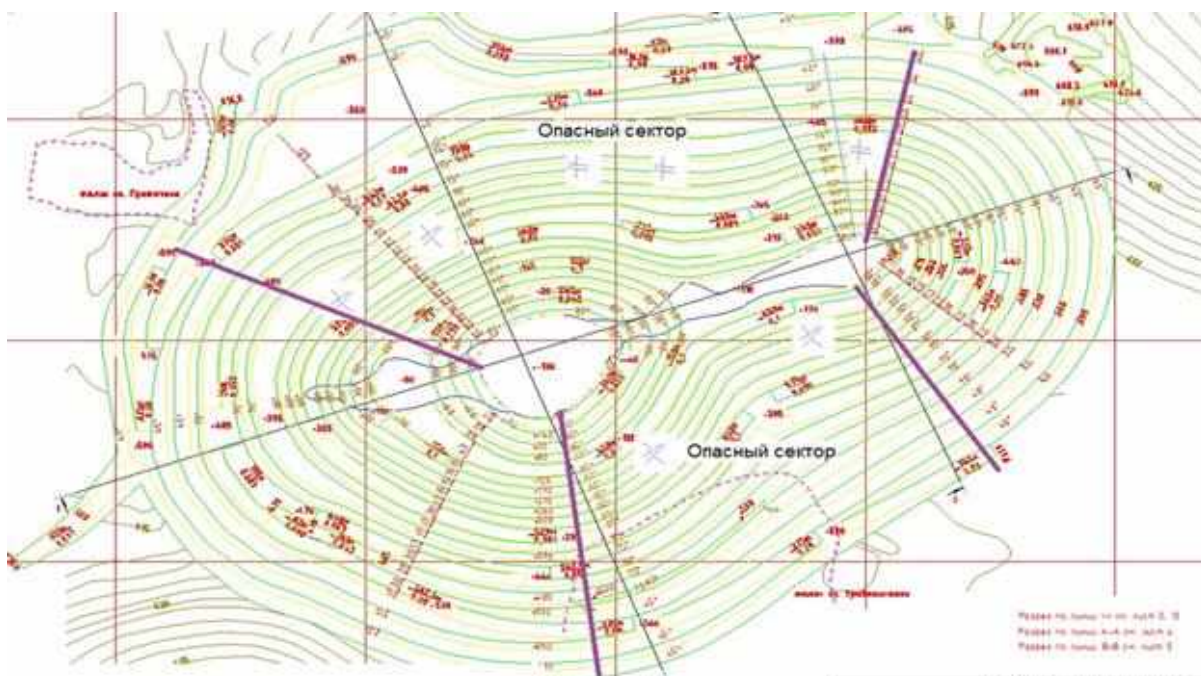


Рисунок 1 – Схема разрезов и секторов карьера, опасных по обрушениям

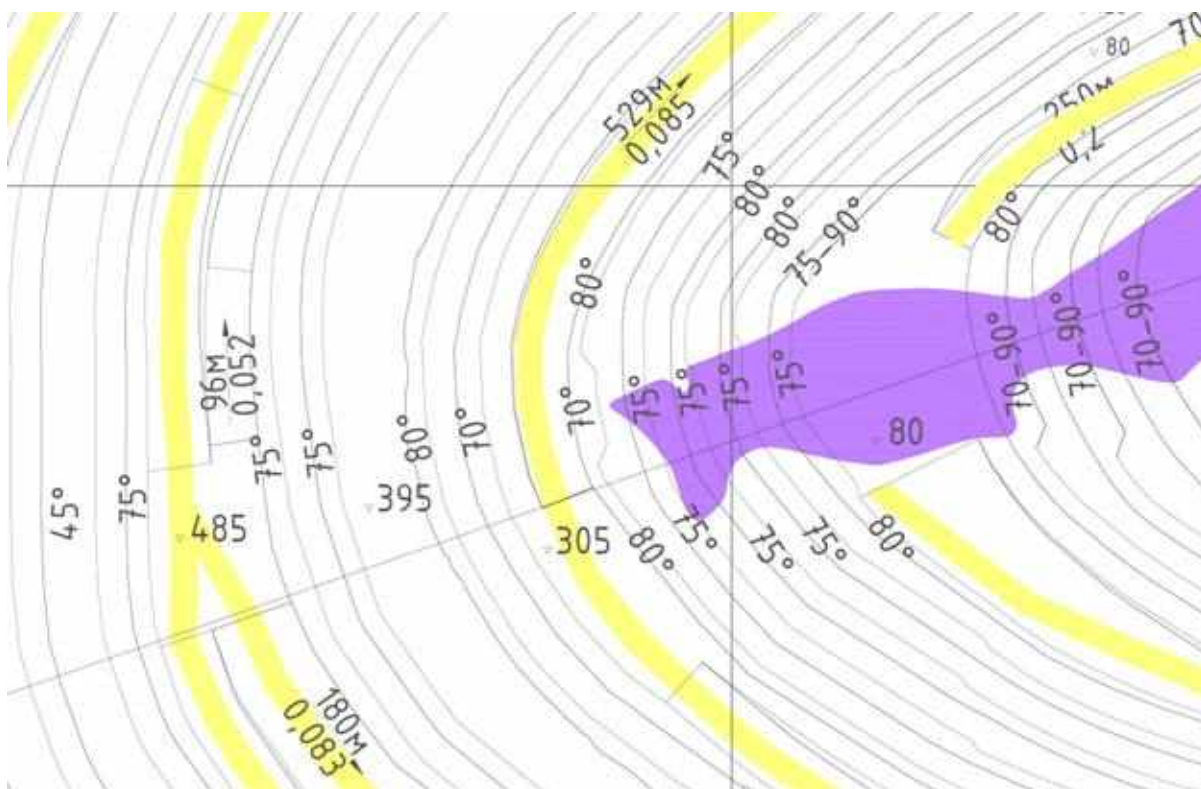
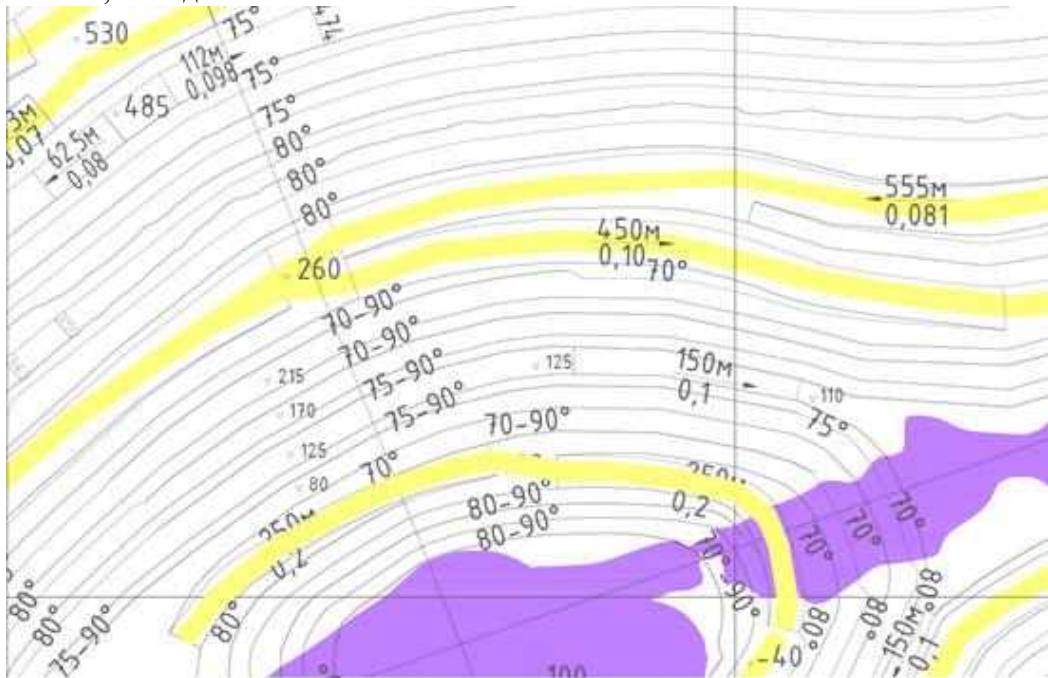


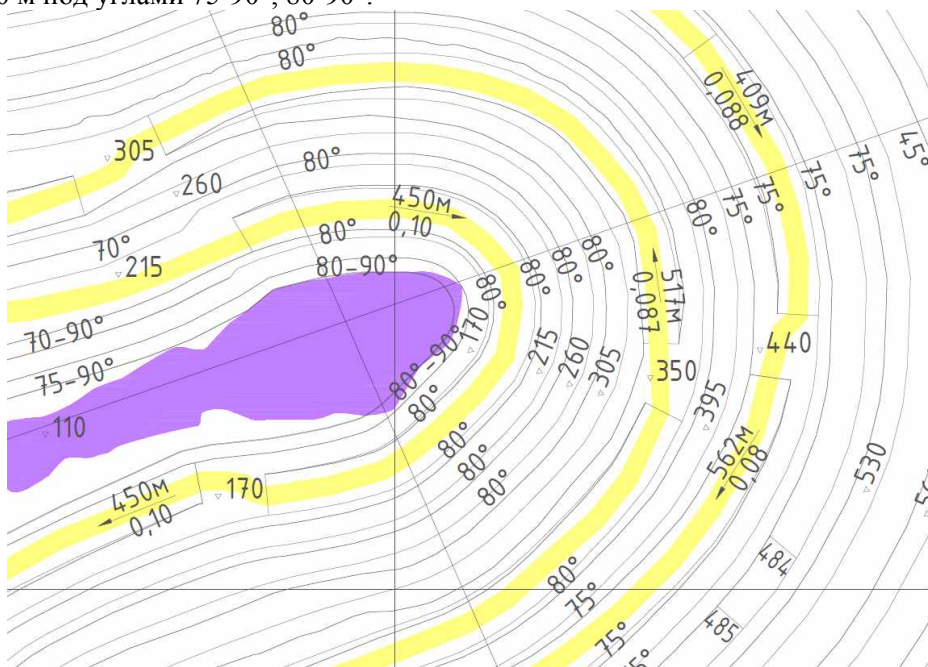
Рисунок 2 – Параметры западного борта карьера

На рисунке 3 приведена схема северного участка борта, где основными зонами ослабления являются разломы и трещины, расположенные субпараллельно уступам ниже гор. +260 м. Высота уступов в данной зоне 45- 60 м, угол постановки уступа 70-80°. Начиная с гор. +260 м отстраивается полигональный уступ высотой 45 м под 70-75° (верхняя 2/3 высоты) и 90° (нижняя 1/3 высоты). А с гор. +80 м полигональный уступ высотой 60 м под углами 70-90°, 80-90°. Дополнительно в данном секторе заужены предохранительные бермы, срок стояния которых не превысит 1,5-2 года.



**Рисунок 3 – Параметры северного борта карьера**

На рисунке 4 приведена схема восточного участка борта где основными зонами ослабления являются разломы и трещины, а также приконтактная зона восточного рудного тела с вмещающими породами. Высота уступов в данной зоне 45-60 м, угол постановки уступа 70-80°. Начиная с гор. +215 м отстраивается полигональный уступ высотой 45 м под 70° (верхняя 2/3 высоты) и 90° (нижняя 1/3 высоты). В границах гор. +170+110 м полигональный уступ высотой 60 м под углами 75-90°, 80-90°.



**Рисунок 4 – Параметры восточного борта карьера**

### Расчёт коэффициентов запаса устойчивости уступов

Для расчётов  $K_{зу}$  была использована трёхмерная модель карьера в электронном виде в формате «dwg». Для модели борта были определены параметры расчётных зон профиля, разрезы и координаты расчетных разрезов, показанные на рисунке 5.

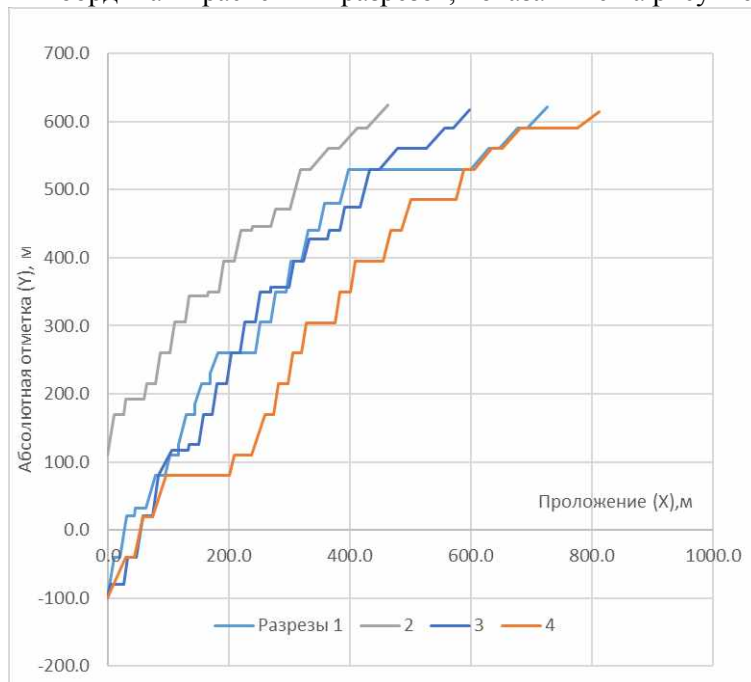


Рисунок 5 – Схема разрезов по осям 1-4

Высота (H) и общий угол борта ( $\alpha$ ) по разрезам приведены в таблице. В целом, рассматриваемый борт (рисунок 5) имеет ступенчатую форму высотой от 513 м на востоке до 722 м на западе, общий угол борта от  $42^\circ$  до  $50^\circ$ , в нижней части борт отстроен уступами высотой до 60 м, в средней и верхней - до 45 м. По северному борту применены уступы полигональной формы.

Таблица 1

#### Общие характеристики борта

Характеристики борта	Разрезы			
	1	2	3	4
H, м	722,1	513,7	717,0	715,2
$\alpha$ , град.	44,9	48,0	50,2	41,4

Расчёты  $K_{зу}$  уступов во вмещающих породах проводились по V схеме ВНИМИ для обводнённого (при наличии) плоского в плане борта методом алгебраического сложения сил по круглоцилиндрической поверхности скольжения. Для уступов поверхности сдвижения строятся от нижней бровки, а в случае выхода поверхности сдвижения за верхнюю берму уступа от верхней внутренней бровки.

Учитывая изученность физико-механических свойств пород и время стояния уступа, в расчётах устойчивости допустимый коэффициент запаса ( $K_{зуд}$ ) принят равным нормативному: при времени стояния более 5 лет  $K_{зуд}=2$ .

По результатам расчетов, следует, что все уступы и участки бортов карьера трубки «Юбилейная», при принятых расчётных физико-механических свойствах пород, устойчивы – все расчетные коэффициенты запаса устойчивости больше допустимых  $K_{зур} > K_{зуд}$ .

Следует, однако отметить, что:

- требуется уделить особое внимания зонам, в которых линии пересечения плоскостей ослабления параллельны бровке уступа, так как в данных зонах деформация массива происходит по скольжению по плоскости разрывного нарушения, подсеченного трещиной;

- в местах выхода поверхностей ослабления на поверхность откоса уступа карьера происходит интенсивное выветривание горного массива.

Для безопасного ведения работ следует обеспечить создание на этих участках камнезаградительных сооружений, покрытие поверхности откоса защитными конструкциями из специальной сетки для исключения прямого попадания камней при передвижении людей и техники по бермам.

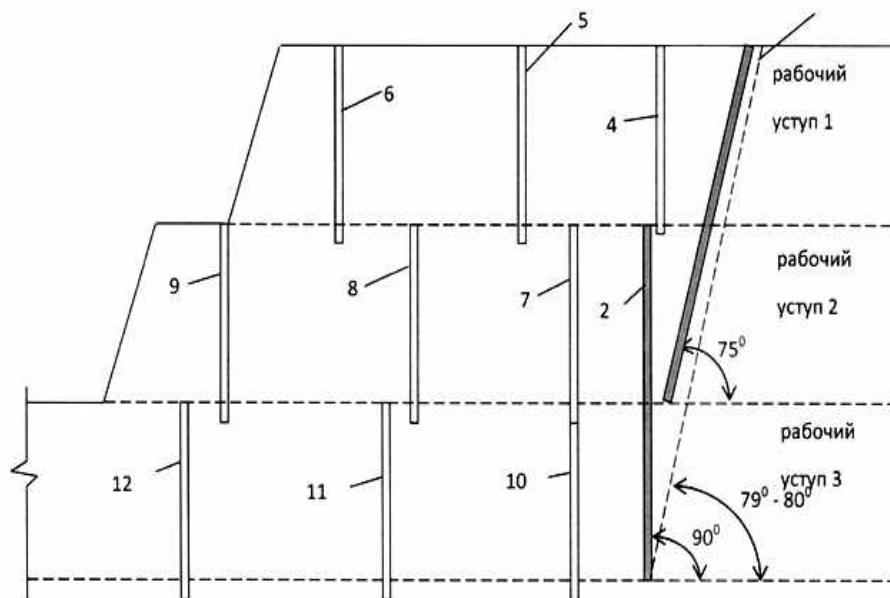


Учитывая, что к рискам по карьеру относится возможность локальных осыпаний и вывалообразований, связанных с сезонными колебаниями температур массива (растепление-заморозка) в зонах повышенной трещиноватости, необходимо обеспечить:

- щадящий режим буровзрывных работ за счет предварительного щелеобразования и уменьшения веса зарядов ступеней;
- инструментальный мониторинг в режиме реального времени с покрытием рабочей зоны (радарная съемка).

#### **Технология постановки полигональных уступов в проектное положение**

При постановке уступов выпукло-ломаного профиля необходимо иметь буровую технику, способную бурить скважины под любым углом на высоту 3-х рабочих уступов (рисунок 6).



**Рисунок 6 – Схема расположения скважин на рабочих уступах при отстройке**

**1 – наклонная контурная скважина; 2 – вертикальная контурная скважина; 3 – короткая буферная скважина первого ряда; 4 – длинная буферная скважина второго ряда; 5, 6 – отбойные скважины первого и второго рядов; 7 – буферная скважина; 8, 9 – отбойные скважины первого и второго рядов; 10 – буферная скважина; 11, 12 – отбойные скважины первого и второго рядов**

В результате выполненной работы удалось добиться поставленных целей проектирования нового контура карьера «Юбилейный». При этом достигнута безопасная эксплуатация с устойчивым состоянием бортового массива, а также обеспечена добыча балансовой руды без допущения сверхплановых потерь.

#### **II. Изучение осыпей карьера «Айхал» для отработки подкарьерных запасов**

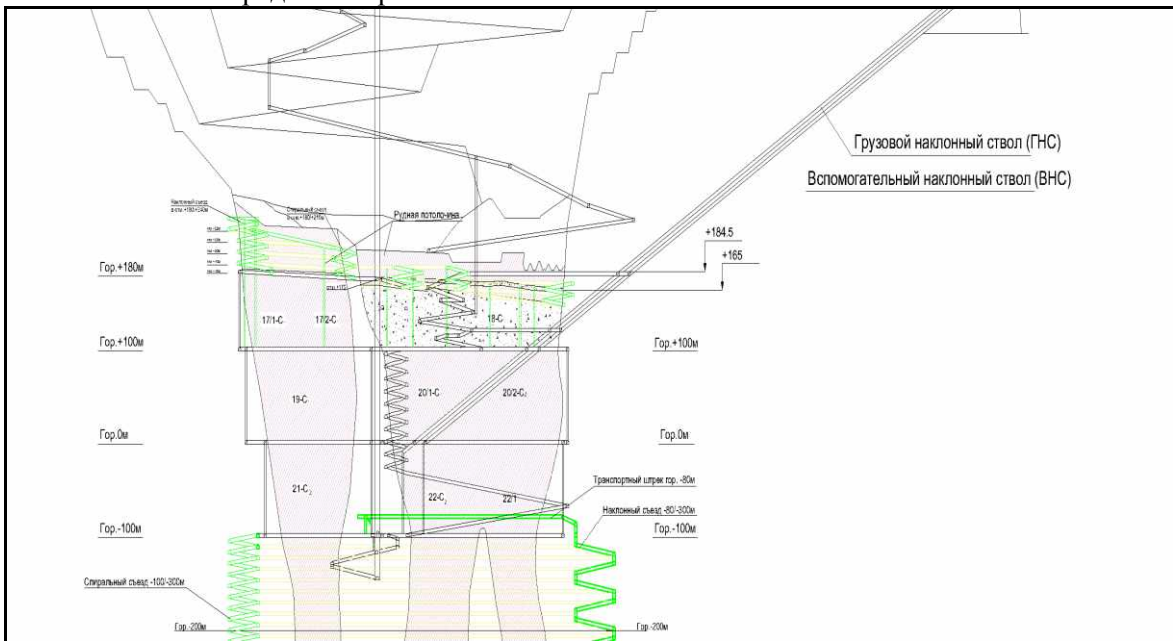
*Авторы работы: специалисты института «Якутнипроamaz»: руководитель, зав. лабораторией **Корепанов А.Ю.**, зам. директора по научной работе, к.г.-м.н. **Янников А.М.**, инженер 2 категории **Брычаев Н.М.***

Отработка месторождения трубки «Айхал» открытым способом завершена в 1997 году. Отработанный карьер представляет собой открытую горную выработку, вытянутую в плане и в направлении с запада на восток с отметками дна карьера в юго-западной части +235 м, в северо-восточной части дна карьера +194,5 м, площадью по поверхности 100 га, не имеющий защиты от атмосферных осадков. За счет естественного разрушения бортов, на дне карьера в данный момент скопилось более 350 тыс. м<sup>3</sup> частично обводненных осыпей. Отработка подкарьерных запасов продолжена подземным способом, двумя наклонными стволами: грузовым (ГНС) и вспомогательным (ВНС) с основной промплощадки на северо-востоке и одним вертикальным клетьевым стволом (ВКС) на вспомогательной промплощадке к северо-западу от карьера (рисунок 7).

Главным источником для формирования дренажных вод карьера трубки «Айхал» являются атмосферные (метеорные) воды, выпадающие на территории промышленной площадки и непосредственно на площадь карьера, в виде дождя и снега.

Для изучения осыпей были выполнены буровые работы, непосредственно из подземных горных выработок, с отбором керновых проб по опытным скважинам, в отметках вскрытия дезинтегрированных пород колювиально-делювиального генезиса. Всего было пробурено 4 восстающих скважины, глубиной от 73 до 102 м, суммарно 340,5 п.м. бурения. При бурении скважин были отобраны пробы керна в интервале осыпей для обеспечения максимальной представительности и площадного охвата объекта исследований, с учётом текущего (на момент обследования) состояния горных работ.

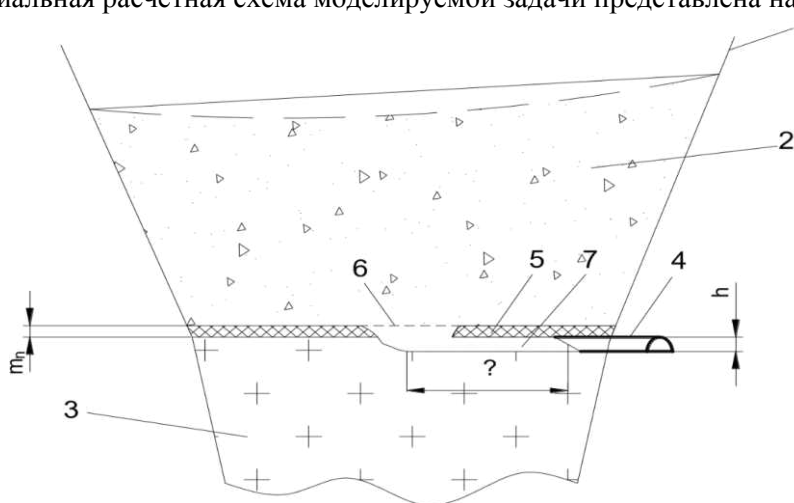
Отобранные пробы были доставлены в специализированную лабораторию ИЗК СО РАН, для последующих исследований, включающих себя: определение гранулометрического состава осыпей; определения химического анализа водной и солянокислой вытяжек в техногенных грунтах; определения химического состава техногенных грунтов; определения минерального состава осыпей и определения реологических свойств.



**Рисунок 7 - Схема вскрытия месторождения «Айхал»**

Для определения принципиальной возможности продвижения дезинтегрированных пород по системе горных выработок были выполнены теоретические расчёты с применением принципов физико-математического моделирования.

Принципиальная расчётная схема моделируемой задачи представлена на рисунке 8.



**Рисунок 8 – Принципиальная расчётная схема**

**1 – борта карьера; 2 – массив осыпей; 3 – рудное тело; 4 – подземная горная выработка; 5 – оставленная потолочина; 6 – выпускная дучка (в случае отработки системой с торцевым выпуском); 7 – продвижения массива осыпей по горной выработке; h – высота горной выработки;  $m_n$  – толщина разделяющего рудного целика**



Задача расчета продвижения осыпей по горной выработке описывается теорией геомеханики сыпучих сред.

Для моделирования процесса сдвижения в таких средах используется модель Кулона-Мора, которая предусматривает использование следующих параметров:

- объемный вес породы,  $\gamma$ ;
- угол внутреннего трения,  $\varphi$ ;
- удельное сцепление,  $c$ ;
- коэффициент Пуассона,  $\nu$ ;
- модуль деформации,  $E$

Таким образом, рассматривалась плоская задача, описывающая поведение толщи дезинтегрированных пород, представляющих собой грубообломочный грунт с дисперсным наполнителем.

Верхней границей расчетной области является дневная поверхность дна карьера (массива осыпей), которая согласно данным, предоставленным Айхальским ГОК составляет +248,8 м. Нижняя граница отметкой расположения подошвы подземной горной выработки (отм. +163 м).

В результате расчётов определялись величины перемещений, возникающих в процессе продвижения массы дезинтегрированных пород по горизонтальной горной выработке. Площадь выпускной дучки принята 22 м<sup>2</sup>. Высота горной выработки – 4,5 м.

Задача решалась в многовариантной постановке, для различных значений показателя угла внутреннего трения толщи. С целью обеспечения необходимого инженерного запаса расчета величина сцепления для пород осыпи принималась близкой к нулевому значению. Результаты расчётов приведены в таблице 2.

Таблица 2

#### Результаты расчётов

Угол внутреннего трения, $\varphi^\circ$	15	20	25	30
Величина горизонтального перемещения, $\Delta X$ , м	37,7	18,9	8,3	4,8

Величина горизонтального перемещения ( $\Delta X$ ), полученная в результате расчетов, показывает, что массив осыпей имеет безопасные параметры перемещения по подземной горной выработке при значении угла внутреннего трения свыше 25°.

Данный параметр получен расчётным путем и требует подтверждения при выполнении экспериментальной части (конус Абрамса).

Отдельно необходимо отметить, что осыпи формируются из различных по составу и свойствам горных пород, приобретая таким образом, разнородное распределение состава и свойств отложений по площади и по разрезу. В основной массе это щебенистый и глыбово-щебенистый грунт.

Состав заполнителя различный по гранулометрическому составу и свойствам. Так, мергели под воздействием процессов выветривания формируют глинистую фракцию, а доломиты и известняки, занимающие доминирующее положение в разрезе, при выветривании являются источником пылеватого, псаммитового и псефитового материала.

В процессе выполнения работ лабораторных работ по определению реологических свойств осыпей были определены следующие параметры:

- влажность грунтов;
- плотность минеральной части грунта;
- пределы текучести ( $W_T$ ), пластичности ( $W_p$ ) и число пластичности ( $I_p$ );
- седиментационный объем грунтов;
- углы естественного откоса (на воздухе и под водой);
- потенциал грунтов к проявлению деформаций набухаемости и усадки;
- выветрелость и истираемость крупнообломочных грунтов;
- размокаемость грунтов;
- водопроницаемость (коэффициент фильтрации).

Массив осыпей, сформировавшийся на дне отработанного карьера «Айхал» отличаются следующими особенностями: они являются щебенистыми и дресвяно-щебенистыми грунтами с песчаным, супесчаным и глинистым заполнителем (по стандартной гранулометрии), относятся

к средне-, сильно- и очень сильно засоленным с преобладанием сульфатов, высококарбонатизированным с аномально высокими содержаниями кальциевых и магниевых карбонатов. Из-за присутствия значительного количества глинистого и алевритистого материала (до 25-30%), осыпи в основной своей массе относятся к слабопроницаемым породам, с отдельными, как правило линзовидными прослойками относительно водопроницаемых разновидностей. Изучаемые грунты проявляют реологические свойства (пластичность, текучесть, ползучесть, падение прочности при длительном воздействии нагрузок). Наличие средневыветрелых и малопрочных обломков в составе грунтов способствует их преждевременному разрушению (за счет истирания и размокания). Со временем количество тонкодисперсного материала будет только увеличиваться. Уже сегодня присутствие пылеватых и тонко песчаных частиц в составе обломочных грунтов определяет невысокие значения пределов текучести для заполнителя.

Изучаемые грунты проявляют реологические свойства (пластичность, текучесть, ползучесть, падение прочности при длительном воздействии нагрузок).

Наличие средневыветрелых и малопрочных обломков в составе грунтов способствует их преждевременному разрушению (за счет истирания и размокания). Со временем количество тонкодисперсного материала будет только увеличиваться. Уже сегодня присутствие пылеватых и тонко песчаных частиц в составе обломочных грунтов определяет невысокие значения пределов текучести для заполнителя.

Для определения консистенции материала осыпей на месторождении «Айхал» при разной степени влажности использовался метод конуса Абрамса. Данная методика предназначена для определения консистенции (подвижности) дисперсных грунтов.

Для проведения эксперимента была подготовлена грунтовая смесь, состоящая из отложений осыпного материала в карьере «Айхал» отобранного в результате проведения буровых работ и отбора проб из тела осыпи на разных глубинах. Гранулометрический состав экспериментальной грунтовой массы представлен в таблице 3.

Таблица 3

**Гранулометрический состав опытной грунтовой массы**

Фракция, мм	>10	10-7	7-5	5-3	3-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	< 0,1
Содержание, %	12	0,7	3	3,5	2,8	2,5	1,6	2	3,3	68,6

Для эксперимента был выбран следующий шаг расчетной влажности – грунты естественной влажности, 10%, 15%, 20%, 25%, 27,5%, 30%, 32,5%, 35% и 40% (рисунок 9).

Расчетная влажность исследуемой массы рассчитывалась весовым содержанием воды в грунте и изменялась путем добавления соответствующего веса воды для достижения необходимого процента влажности.

По результатам проведенного эксперимента с конусом Абрамса следует отметить закономерное увеличение подвижности грунтовой смеси при увеличении влажности. Чем выше влажность, тем более текучим становится консистенция материала. Большое содержание мелкопесчаной фракции с размерностью менее 0,1 мм, которое составляет 68,6% определяет высокую гидрофильность грунтовой массы, что приводит к большому количеству воды, которое может содержаться в грунте в связанном виде и сокращает содержание свободной воды, способной перемещаться в грунтовой массе под действием сил гравитации.

Исходя из результатов проведенных работ, справедливо сделать вывод, что безопасные условия эксплуатации полностью обеспечиваются при суммарной влажности, не превышающей 30%. При данном показателе величина горизонтального перемещения от оси выпускной дучки (при выборе метода отработки обрушением с торцевым выпуском) не превышает 8,0 м.

В случае увеличения влажности дезинтегрированных пород (осыпей), которое возможно в период паводка или интенсивных атмосферных осадков, особенно в случае ненадлежащей работы системы нагорных канав, в чашу карьера может поступить значительный объем метеорных вод (до 50-70 тыс. м<sup>3</sup>), который в свою очередь, приведёт к возможности формирования локальных участков влажность которых превысит рекомендованный безопасный параметр.



воздушно-сухая влажность  $W=1,4\%$



влажность  $W=10\%$



влажность  $W=15\%$



влажность  $W=20\%$



влажность  $W=25\%$



влажность  $W=27,5\%$



влажность  $W=30\%$



влажность  $W=32,5\%$



влажность  $W=35\%$



влажность  $W=40\%$

**Рисунок 9 - Форма конуса экспериментальной массы грунта при различной степени влажности**

Главными контролируемыми параметрами выступили: влажность, объём метеорных вод, поступаемых в отработанный карьер; угол естественного откоса. При этом **безопасные условия** отработки осуществимы при влажности пород от 0 до 30%; объёме метеорных вод до 5 тыс. м<sup>3</sup>/сут; угле естественного откоса от 25° до 60°. **Дополнительный ежесменный контроль**, а также установление дополнительной опасной зоны размером в 20 м от осевой линии выпускной дучки, требуются при влажности пород от 30 до 45%; объёме метеорных вод от 5 тыс. до 10 тыс. м<sup>3</sup>/сут; угле естественного откоса от 15° до 25°. Ограничения доступа персонала на очистные забои должно осуществляться при влажности пород свыше 45%; объёме метеорных вод свыше 10 тыс. м<sup>3</sup>/сут; угле естественного откоса менее 15°.

Учитывая выявленный факт о способности к накоплению глинисто-песчаной фракции в общем объёме массива осыпей важным параметром выступает не только учёт поступившей воды в карьер, но и количество воды, поступившей непосредственно в рудник. Из разницы объёмов можно будет сделать вывод о наличии процесса накопления метеорных вод непосредственно в осыпях. Так как данный параметр будет являться общим оценочным показателем не только суммарного объёма глинисто-песчаного заполнителя, но и суммарного увлажнения пород.

### **III. Поиск технологических решений для отработки подкарьерных запасов трубки Интернациональная подземным способом**

*Авторы работы: специалисты института «Якутнипроамаз»: руководитель, зав. лабораторией, к.т.н. Тишков М.В., главный специалист Семёнов Д.П.*

Для поддержания установленной производственной мощности подземного рудника «Интернациональный» в соответствии с графиком отработки месторождения с 2023 года необходимо приступить к отработке запасов блока №2. Реализация ранее запланированных технических и технологических решений по возведению ледопородного целика на дне карьера имеет отставание от запланированных сроков, поэтому поиск и обоснование альтернативных способов отработки балансовых запасов трубки Интернациональная в отм. +85м/+32м является актуальным.

Для этого были рассмотрены следующие системы разработки:

1. вертикальное выбуривание с поверхности карьера с последующей твердеющей закладкой выработанного пространства;
2. система с принудительным обрушением с торцевым выпуском руды;
3. камерно-целиковая система со слоевым порядком выемки и последующей твердеющей закладкой выработанного пространства.

#### **Система разработки №1. Вертикальное выбуривание с поверхности дна карьера с последующей твердеющей закладкой выработанного пространства**

Идея вертикального выбуривания для отработки кимберлитовых тел поднималась неоднократно, были выполнены ряд концептуальных предложений и научно-исследовательских работ. Ключевым и обязательным условием данного способа отработки является обеспечение платформы на дне отработанного карьера «Интернациональный» требуемой толщины и прочности для возможности работы буровых установок. В противном случае рассмотрение данной технологии нецелесообразно.

В качестве оборудования рассмотрен имеющийся в парке Компании буровой станок производства «Atlas Copco», ныне «Epiroc», модели «Robbins 73RH», диаметры шарошек (расширителей) 3,05 и 2,4 м. Метод применяемого бурения – стандартный. Первоначально производится бурение пилотной скважины сверху вниз. Затем производится расширение снизу-вверх.

Для выполнения требуемых расчётов необходимо рассмотреть расчётную схему, представленную на рисунке 11, из которой будут определены длины бурения пилотных скважин и работы станка с расширителем.

На текущий момент полностью отработан слой №12 проектной системой разработки. Средняя высота кровли слоя №12, и соответственно почвы слоя №11, в котором будут неоднократно пройдены выработки прямоугольного сечения (БВР, механизированное крепление) в поперечном сечении 5х5м для организации камер с целью навески расширителей. Таким образом, высота рудного столба, подлежащего выемке составит 49.5 м. Отметка кровли блока №2 (+85м) минус отметка почвы слоя №11 (+35,5м).

Высота блока, подлежащего к отработке вертикальным выбуриванием составит:

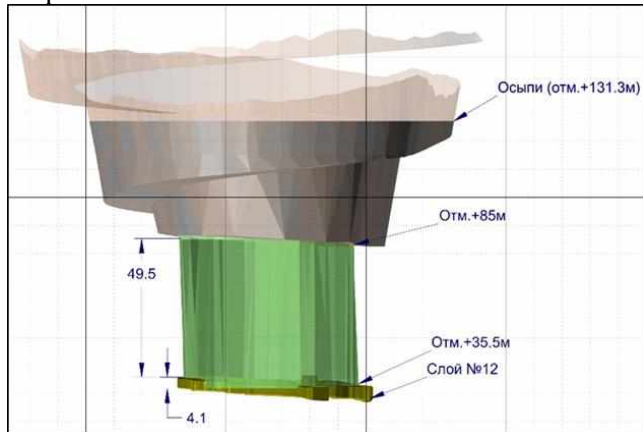
$$+85 \text{ (м)} - 35,5 \text{ (м)} - 5 \text{ (м)} = 45,5 \text{ м};$$

где:

+85 м - отметка кровли блока №2;

-35,5 м - отметка почвы слоя №11 (кровли слоя №12), данная отметка имеет среднее значение, тем не менее для упрощения расчёта очистных колонн принимается именно это значение;

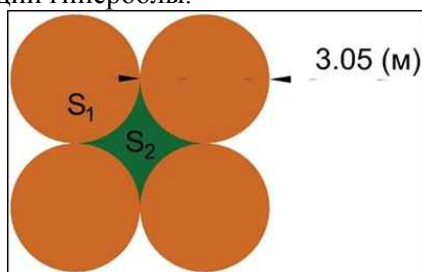
5 м – высота слоя №11, предназначенного для организации камер с целью монтажа расширителей.



**Рисунок 11 - Расчётная схема для варианта отработки запасов блока №2 в инт. отм. +85/+32м. вертикальным выбуриванием**

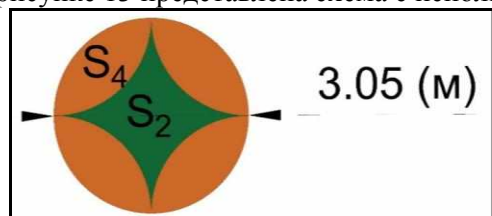
В качестве двух основных схем расположения рассмотрению подлежат две схемы: квадратная и треугольная.

**Квадратная схема.** Геометрически эта схема выглядит следующим образом. В квадрат со стороной А вписаны четыре окружности одинакового диаметра, равного величине 0,5А, центры вписанных окружностей равноудалены от центра пресечения диагоналей квадрата. Принципиальная схема такого расположения приведена на рисунке 12. Учитывая, что элементарная выемочная единица будет представлять собой вертикальный цилиндр с основанием  $S_1$  равным  $7,3062 \text{ м}^2$ , а его высота составляет 45 м, т.к. ограничивается интервалом отметок +85/+30,5 (м), то в дальнейшем в работе будет называться «очистной колонной». Остающийся между элементарными выемочными единицами целик с основанием  $S_2$  равным  $1,9963 \text{ м}^2$  и аналогичной высотой, равной 45 м, в дальнейшем в работе будет называться «гиперboloидом», т.к. фигура его основания имеет схожесть с графическим отображением математической функции гиперболы.



**Рисунок 12 – Квадратная схема расположения очистных колонн (вид в плане)**  
 $S_1$  – площадь очистной колонны, равна  $7,3062 \text{ м}^2$ ;  
 $S_2$  – площадь междуколонного целика (гиперboloида), равна  $1,9963 \text{ м}^2$

При такой схеме размещения очистных колонн между ними остаются рудные целики. Для минимизации потерь, остающихся в этих целиках рассмотрены два варианта их отработки, выбуриванием с использованием расширителей 2,4 и 3,5 м. Далее рассмотрим получаемые геометрические фигуры с целью определения мест возникновения потерь и разубоживания. На рисунке 13 представлена схема с использованием расширителя диаметром 3.05 м.



**Рисунок 13 – Рудный целик при квадратной схеме расположения очистных колонн (вид в плане)**  
 $S_2$  – площадь междуколонного целика (гиперboloида), равна  $1,9963 \text{ м}^2$ ,  $S_4$  – площадь вовлекаемой части закладки от ранее отработанной колонны «лепесток», равна  $1,3275 \text{ м}^2$



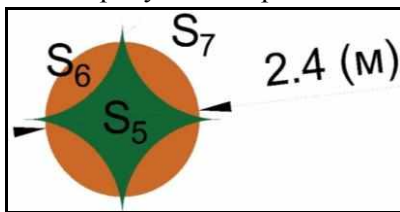
Учитывая, что площадью  $S_4$  при отработке гиперboloида будет 4 единицы, то площадь вовлекаемой части закладки от ранее отработанных колонн составит:

$$1,3275 * 4 = 5,31 \text{ м}^2, \text{ при этом показатель потерь руды будет равен } 0.$$

Через соотношение площадей основания полученных фигур определим разубоживание:

$$4S_4 / S_1 = 5,31 / 7,3062 = 0,73 \text{ д.е. или } 73\%$$

На рисунке 14 представлена схема с использованием расширителя диаметром 2.04 м.



**Рисунок 14 – Рудный целик при квадратной схеме расположения очистных колонн (вид в плане)**  
 $S_5$  – площадь междуколонного целика (гиперboloида) вовлекаемого в отработку, равна  $1,9661 \text{ м}^2$ ,  $S_6$  – площадь вовлекаемой части закладки от ранее отработанных колонн «лепесток», равна  $0,6395 \text{ м}^2$ ,  $S_7$  – безвозвратные потери руды  $0,0303 \text{ м}^2$

Учитывая, что площадью  $S_6$  при отработке гиперboloида будет 4 единицы, то площадь вовлекаемой части закладки от ранее отработанных колонн составит:

$$0,6395 \text{ м}^2 * 4 = 2,558 \text{ м}^2.$$

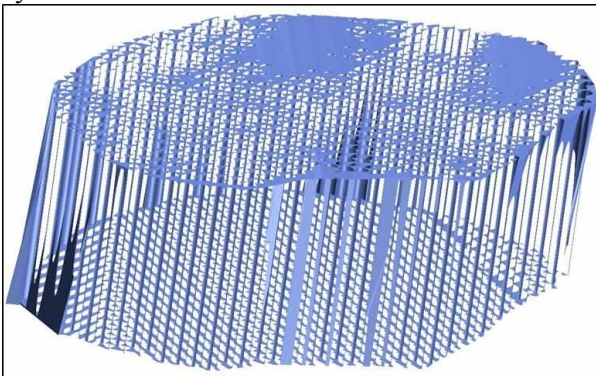
Через соотношение площадей основания полученных фигур определим разубоживание:

$$4S_6 / S_5 = 2,558 / 4,5239 = 0,56 \text{ д.е. или } 56\%.$$

Потери руды при использовании расширителя 2,4 м составят:

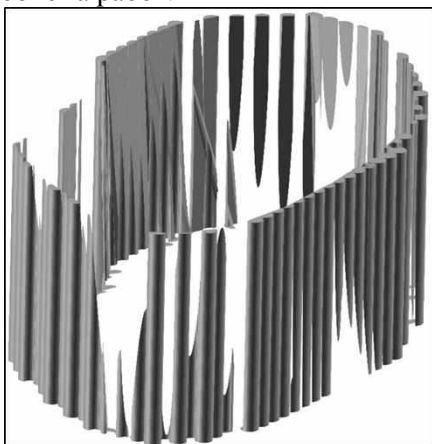
$$4S_7 / S_5 = 4 * 0,0303 / 4,5239 = 0,027 \text{ д.е. или } 2,7\%.$$

В выше приведённом расчёте определены показатели потерь и разубоживания только для одной секции квадратной схемы. Для подсчёта эксплуатационных и общерудничных потерь предложенная схема расположения очистных колонн вписана в каркас рудного тела, рисунке 15.



**Рисунок 15 – Потери руды в целике (общерудничные потери), не извлекаемые запасы**

На рисунке 16 представлен каркас рудного тела, отображающий разубоживание руды вмещающими породами после завершения буровых работ (очистной выемки) по завершению всего объёма работ.



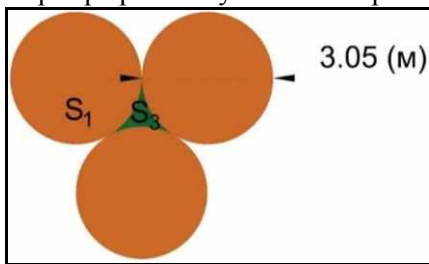
**Рисунок 16 – Места возникновения разубоживания за счёт «прихвата» пустых (вмещающих пород)**

На рисунке 17 проиллюстрированы завершённые процессы бурения колонн первой и второй очереди соответственно. Это позволило вписать каркасы очистных колонн обеих очередей в каркас обрабатываемого блока, и в последующем посредством отсечения плоскостями определить общерудничные потери и разубоживание.



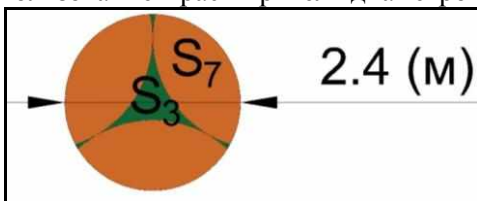
**Рисунок 17 – Места возникновения потерь и разубоживания при обработке блока колоннами второй очереди**

**Треугольная схема.** Геометрически эта схема выглядит следующим образом. В равно-сторонний треугольник со стороной А вписаны три окружности одинакового радиуса, центры вписанных окружностей равноудалены от центра пресечения медиан треугольника. Принципиальная схема такого расположения приведена на рисунке 18. Элементарная выемочная единица будет аналогична варианту 1 и представляет собой вертикальный цилиндр с основанием  $S_1$  равным  $7,3062 \text{ м}^2$ , а его высота составляет 53 м, т.к. ограничивается интервалом отметок  $+85/+30,5$  (м). Остающийся между элементарными выемочными единицами целик с основанием  $S_3$  равным  $0,375 \text{ м}^2$  и аналогичной высотой, равной 45 м, в дальнейшем в работе будет называться «трипоидом», т.к. фигура его основания имеет схожесть с графическим отображением шарнира равных угловых скоростей.



**Рисунок 18 – Треугольная схема расположения очистных колонн (вид в плане)**  
 $S_1$  – площадь очистной колонны, равна  $7,3062 \text{ м}^2$ ;  
 $S_3$  – площадь междуколонного целика (трипоида), равна  $0,375 \text{ м}^2$

При такой схеме размещения очистных колонн между ними остаются рудные целики. Для минимизации потерь, остающихся в этих целиках рассмотрен вариант их обработки, выбуриванием с использованием расширителя 2,4 м, использование расширителя диаметром 2,5 м нецелесообразно. Далее рассмотрим получаемые геометрические фигуры с целью определения мест возникновения потерь и разубоживания. На рисунке 19 представлена схема с использованием расширителя диаметром 2,4 м.



**Рисунок 19 – Рудный целик при квадратной схеме расположения очистных колонн (вид в плане)**  
 $S_3$  – площадь междуколонного целика (гиперboloида), равна  $0,375 \text{ м}^2$ ,  $S_7$  – площадь вовлекаемой части закладки от ранее обработанной колонны «лепесток», равна  $133761 \text{ м}^2$

Учитывая, что площадей  $S_7$  при обработке гиперboloида будет 3 единицы, то площадь вовлекаемой части закладки от ранее обработанных колонн составит:

$1,3761 * 3 = 4,1283 \text{ м}^2$ , при этом показатель потерь руды будет равен 0.

Через соотношение площадей основания полученных фигур определим разубоживание:

$$4S_7 / (S_3 + 4S_7) = 4,1489 / 4,5239 = 0.91 \text{ д.е. или } 91\%.$$

Аналогично, как и с квадратной схемой, каркасы очистных колонн обеих очередей вписаны в каркас обрабатываемого блока, и в последующем посредством отсечения плоскостями определены общерудничные потери и разубоживание.

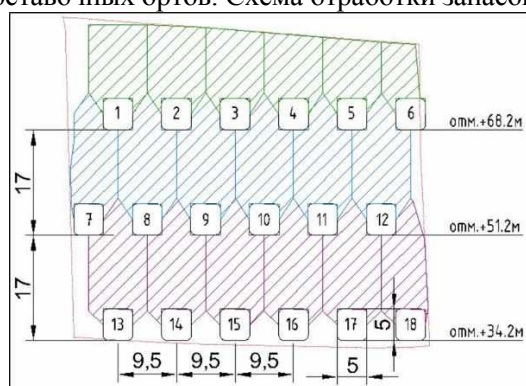
Далее, в таблице 4 приведён расчёт эксплуатационных запасов в зависимости от схем бурения и используемых диаметров шарошек, определены показатели потерь и разубоживания.

**Расчёт эксплуатационных запасов в зависимости от схем бурения  
и используемых диаметров шарошек**

Схема	Ø, (м)	Э	Б	П	Р
		т	т	т	т
Квадр.	3.05	897 551	568 868	4 944	333 627
	2.40	730 728	568 868	11 685	173 545
Треуг	2.40	1 116 830	568 868	3 575	551 537
				%	%
Квадр.	3.05			0.87	58.65
	2.40			2.05	30.51
Треуг	2.40			0.63	96.95
		м <sup>3</sup>	м <sup>3</sup>	м <sup>3</sup>	м <sup>3</sup>
Квадр.	3.05	367 887	237 028	2 060	132 919
	2.40	301 301	237 028	4 869	69 142
Треуг	2.40	455 275	237 028	1 490	219 736
				%	%
Квадр.	3.05			0.87	56.08
	2.40			2.05	29.17
Треуг	2.40			0.63	92.70

**Система разработки №2. Подэтажная система разработки с принудительным обрушением и торцевым выпуском**

Выемочная единица (эксплуатационный блок) высотой 51 м разделяется на 3 (три) подэтажа. Высота подэтажа принимается 17 м. Отбойка и выпуск руды осуществляется из буро-доставочных ортов. Схема отработки запасов представлена на рисунке 20 (расчётная схема).



**Рисунок 20 – Расчётная схема**

Таким образом, участок рудного тела разделен на три подэтажа, на каждом подэтаже предусмотрено по 6 (шесть) буро-доставочных ортов.

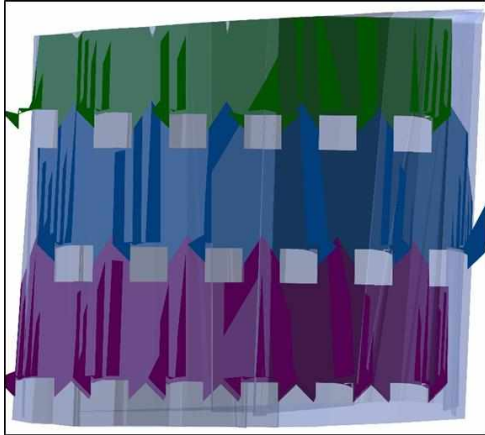
Далее, для определения показателей потерь и разубоживания, моделирования процесса выпуска, определения последовательности выпуска и его направления проведено моделирование в специализированном программном комплексе Geovia Gems (PCSLC), рисунок 21.

В качестве ключевых исходных данных по системе разработки принимаются следующие исходные данные:

1. Количество подэтажей – 3 (шт), высота – 17 м;
2. Буро-доставочные штрека прямоугольного (квадратного) сечения площадью 25 м<sup>2</sup>;
3. Расстояние между осями буро-доставочных штреков – 9,5 м;
4. Высота фигуры выпуска (эллипсоида) – 23 м;
5. Толщина отбиваемого веера – 2.5 м, количество одновременно отбиваемых вееров – 1.

Ключевыми параметрами, помимо расчётной схемы, являются следующие показатели, которые были приняты в выполненном моделировании:

1. Производительность, принята в объёме 150 000т/год или 12 500 т/мес.;
2. Каждый из трёх подэтажей обрабатывается одной секцией, состоящей из 6 вееров, направление отработки (азимут) - 164°, стреловидной формы;
3. Дозы выпуска в подэтажах:
  - отм. +68.2 (м) – 80%;
  - отм. +51.2 (м) – 90%;
  - отм. +34.2 (м) – 120%.



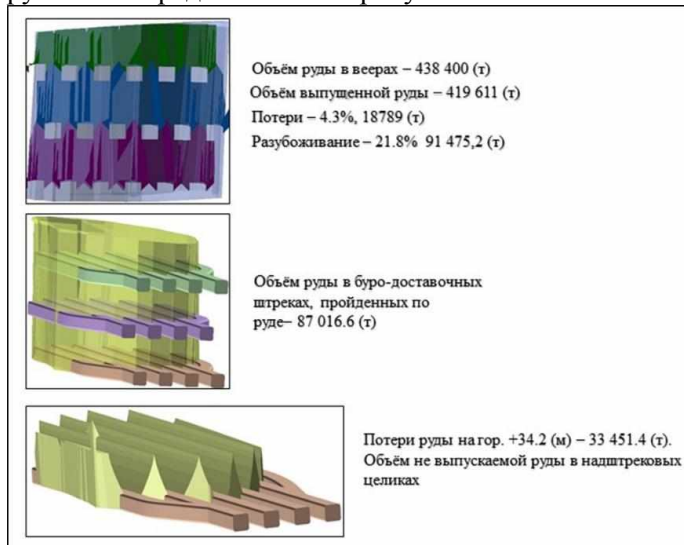
**Рисунок 21 – Каркасы очистных вееров, отстроенные в ПО Geovia Gems (PCSLC) на основании расчётной схемы**

Таким образом, с учётом приведенных выше условий объём обрабатываемых вееров составит 438 400 тонн (по руде). По результатам смоделированного выпуска выпущено **419 611** тонн (по руде). Полученные данные позволяют выполнить оценку эксплуатационных потерь отбитой (добытой) руды.

$$1 - (419\,611 / 438\,400) = 1 - 0,957 = 0,043 \text{ д.е. или } 4,3\%$$

Также по результатам смоделированного выпуска установлено, что в результате выпуска разубоживание составит 21,8%.

Помимо достигнутых показателей потерь и разубоживания при выпуске следует учесть потери, которые остаются в «гребнях» между доставочными штреками на отм. +34,2 м. Данные потери будут определены путём отсечения каркасов очистных вееров от каркаса рудного тела. Места образования потерь и разубоживания при отработке запасов принудительным обрушением представлены на рисунке 22.



**Рисунок 22 – Места образования потерь и разубоживания при отработке запасов принудительным обрушением**

По результатам проведенного моделирования запасы будут отработаны в течение 44 месяцев. При этом показатели потерь и разубоживания составят 9,3% и 21,8% соответственно.

### **Система разработки №3. Камерно-целиковая со слоевым порядком выемки (проектная)**

Отработка запасов в рассматриваемых отметках возможна только механической (комбайновой) отбойкой руды по камерно-целиковой схеме, как при нисходящем, так и при восходящем порядке выемки слоев.



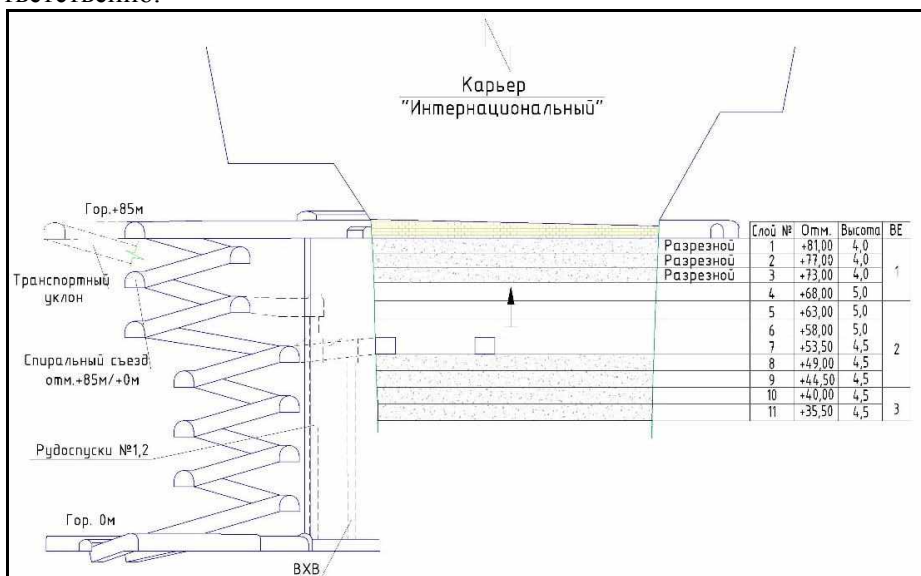
Отработка запасов подкарьерного целика над водоносным метегеро-ичерским комплексом предполагается только после перепуска накопившейся в карьере воды. Однако, из-за накопившихся в карьере осыпей высотой до 20 м, возможных осадков, скорость выпадения которых может превышать производительность дренажа и наличия обводненных осыпей, которые не могут быть сдренированы «досуха» начальный этап отработки подкарьерного целика представляет собой серьезную проблему.

Отработку верхнего слоя (под железобетонной плитой) следует вести лентами шириной 4,0 – 4,5 м с одновременным креплением выработок. Плотность установки вертикальных деревянных стоек при ширине ленты 4,0 м должна составлять 8 стоек на 1 п.м. ленты при диаметре стоек 15 см или 5 стоек на 1 п.м. при их диаметре 20 см. При пролете ленты 4,5 м плотность установки стоек должна быть не меньше 9 стоек диаметром 15 см на 1 п.м. или 5 стоек диаметром 20 см на 1 п.м. В качестве верхняка должен использоваться спецпрофиль СВП-22.

Таким образом, для обеспечения устойчивости очистных выработок (при условии практически полного дренажа воды и свободной воды) необходимо создать искусственный целик мощностью 15 м, т.е. отработать 3 слоя в режиме нарезных работ.

При этом, если первый слой должен обрабатываться лентами с пролетом 4,0–4,5 м, то на втором и третьем слое можно перейти на пролет 5,0–5,5 м, а крепь устанавливать только в местах нарушения искусственной кровли (при начале трещинообразования). Однако для этого мощность несущего слоя уже на в первых лентах шириной 4,0–4,5 м должна быть не менее 2 м при нормативной прочности закладки 6 МПа.

Ленты основных (рядовых) слоёв обрабатываются по камерно-целиковой схеме. Порядок отработки лент в очистном слое при камерно-целиковой схеме выбирается таким образом, чтобы обеспечить необходимое время твердения закладки в каждой отработанной и заложеной ленте до момента обнажения закладочного массива в процессе отработки запасов смежной ленты, и при этом исключить простои комбайна по причине ожидания твердения закладки в стенках заложённых лент. На рисунке 23 приведена принципиальная схема отработки запасов «слоевой» системой. Показатели потерь и разубоживания при данной системе составляют 0,5% и 8,0% соответственно.



**Рисунок 23 – Принципиальная схема отработки запасов камерно-целиковой системой со слоевым порядком выемки**

Из рассмотренных вариантов технологии отработки подкарьерных запасов трубки «Интернациональная» однозначно не рекомендуется технология с выбуриванием, как неэффективная и технически не реализуемая. Оставшиеся два варианта могут быть рекомендованы для дальнейшего рассмотрения при определенных условиях.

Любой из рассматриваемых вариантов технологии отработки подкарьерных запасов базируется на обязательности условия удаления воды из чаши карьера. Применение системы разработки с поэтажным обрушением и торцевым выпуском является технически наиболее надежным вариантом в сложившихся условиях, при условии решения вопроса с отведением воды, поступающей в подземные выработки из чаши карьера.



По критерию прибыли на одну тонну погашенных балансовых запасов система с обрушением вероятно будет конкурентоспособной, несмотря на более высокие показатели потерь и разубоживания по сравнению с системами с закладкой.

## **2.17. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ СЕРГО ОРДЖОНИКИДЗЕ**

*Исследования процесса роста трещины вокруг шпура при наличии в нем концентратов напряжений различной формы при применении невзрывчатых разрушающих смесей с учетом гравитационного поля напряжений*

В настоящее время практически единственным способом разрушения крепких горных пород при разработке месторождений полезных ископаемых является буровзрывной с использованием энергии взрыва. Данный способ по производительности и срокам выполнения остается лидирующим и на перспективу в ближайшие 30-40 лет, пока не будут изобретены новые способы разрушения крепких горных пород с использованием больших мощностей. Главными недостатками буровзрывного метода является недостаточное обеспечение полной безопасности взрывных работ, прерывание ритмичности при ведении горных работ и простои в связи с проветриванием объектов взрывания, большой объем вспомогательных работ, недостаточно полное использование энергии взрыва в разнопрочных трещиноватых горных породах, выделение огромного количества пыли и ядовитых газообразных продуктов, опасность хранения взрывчатых веществ (ВВ) и др. Данные недостатки вынуждают разрабатывать дешевые и перспективные способы разрушения крепких горных пород. В качестве перспективного направления решения данной проблемы является использование статического метода разрушения различных горных пород с использованием невзрывчатых разрушающих смесей (НРС).

На сегодняшний день известно более 120 различных смесей и композиций НРС, главными недостатками которых является их сложность получения состава, использование в качестве добавок редких и дорогостоящих веществ, длительное время разрушения (12-24 часа), лимитный температурный режим работы, ограниченные условия применения, зависимость от климатических и температурных условий (например, в зимнее время не работает). В связи с этим возникает необходимость в проведении исследований по разработке дешевого и качественного НРС с использованием компонентов из местного сырья и уменьшением времени разрушения горных пород.

Такие вещества разработаны за рубежом и в нашей стране и широко применяются в строительстве для разрушения бетонных и железобетонных конструкций, в горном деле для добычи природных, драгоценных камней и горных пород. Технология разрушения с помощью НРС довольно проста. В пробуренные шпуры (скважины) заливается смесь невзрывчатого разрушающего средства на основе расширяющегося цемента с водой, в процессе гидратации происходит расширение цемента в зависимости от времени с усилением до 30-50 МПа, в результате образуются трещины и материал разрывается между шпурами (скважинами). Процесс протекает бесшумно в течение нескольких часов.

В большинстве современных НРС основным рабочим веществом является оксид кальция, гидратация которого сопровождается увеличением объема [1]. Поэтому при помещении НРС в закрытую полость на стенки последней оказывается давление от расширения смеси.

Процесс производства НРС из местного сырья горного предприятия состоит из добычи материалов (известняки, доломиты и др.), приготовления сырьевой смеси (дробление, помол и усреднение состава), обжига смеси (получение гранул оксида кальция), помола клинкера. При производстве НРС применяются природные материалы, содержащие, в основном, углекислый кальций (известняки, доломиты, известняковый туф, мел и т.д.), относящиеся к осадочным породам. В качестве добавок для повышения содержания в НРС оксида кальция применяют природный двуводный гипс, а также отходы промышленности, состоящие из двуводного гипса ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) или их безводного сернокислого кальция ( $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ ) или их смеси – фосфогипс, борогипс, фторогипс и др. В доломитизированных известняках в качестве примеси присутствует доломит ( $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$ ).

Реакция гидратации оксида кальция является экзотермической и протекает бурно, что не позволяет приготовить рабочую смесь, поместить ее в шпур и добиться стабильного протекания реакции в шпуре для получения заданного результата. Поэтому для использования оксида кальция в составе НРС необходимо обеспечить замедление реакции гидратации при затворении НРС водой. Это достигается путем пассивации.

Для создания раскола на контуре шпура с помощью НРС необходимо определить длину образованной трещины, её направление и рост со временем. В качестве направления развития трещины применяют так называемые концентраторы напряжения на контуре шпура, т.е. на контуре шпура делают насечки в сторону развития трещины особым устройством. Но, образование насечек очень затруднительно в крепких породах, поэтому нами исследовалось вставление в шпур одной и двух металлических пластин, которые изменяют круглое сечение шпура на приближенно эллиптическое сечение. Пластины вставляются таким образом, чтобы их направление совпадало с естественной трещиноватостью массива, устанавливаемой при окончании бурения шпуров в гипсовых породах [2].

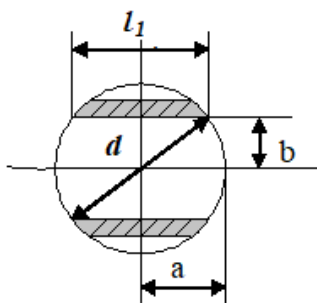
Теоретическое рассмотрение процесса зарождения и развития направленных трещин при статической нагрузке, развиваемой НРС, имеет два аспекта.

Первый связан с изучением условий зарождения направленных трещин и таких, при которых исключаются побочные разрушения законтурной зоны шпура, второй – с описанием динамики роста возникших радиальных трещин, а также с определением их конечных размеров при различных формах нагружения.

Второй аспект с физической точки зрения является наиболее трудоемким из-за недостаточно развитой техники измерения процессов развития трещин, поэтому в основном, он рассматривается гипотетически, в предположении действия статической увеличивающейся нагрузки, превышающей прочностные свойства породы, окружающей шпур. Поэтому для нас наибольший интерес представляет аспект процесс зарождения направленных трещин, который на второй стадии развивается под действием увеличивающейся статической нагрузки от НРС. Основной целью изучения этой стадии исследуемого процесса является определение допустимого диапазона величин начального давления НРС в зарядной полости, гарантирующего зарождения направленных трещин без возникновения побочных разрушений в законтурной зоне шпура.

Анализ способов создания раскола на контуре шпура с помощью НРС выявили, что основные конструкции для направленного раскола горных пород можно разделить на две группы. Основным признаком, по которому можно отнести конструкции к той или иной группе, является наличие или отсутствие контакта, предназначенного для раскола массива горных пород, со стенками шпура и расположение в шпуре конструкции различные по форме и типу для образования дефекта на стенке шпура.

Нами была разработана конструкция расположения концентраторов напряжений на контуре шпура, когда в нем располагаются две металлические прямоугольные пластины, упирающиеся своими концами в стенки шпура с двух сторон и располагающиеся параллельно друг другу и образующие новое по форме рабочее сечение шпура, напоминающее форму эллипса (рисунок 1).



**Рисунок 1 - Конструкция расположения концентраторов напряжений на контуре шпура в виде двух металлических пластин (a, b – соответственно большая и малая полуоси эллипса)**

Его сечение будет зависеть от соотношения полуосей, при этом величина образования трещины на контуре (I) шпура и её прорастания вглубь массива горных пород со временем и с учетом превышения предела прочности гипса на растяжение (Новомосковское гипсовое месторождение) от совместного действия нагрузок гравитационного поля и НРС определяется по формуле:

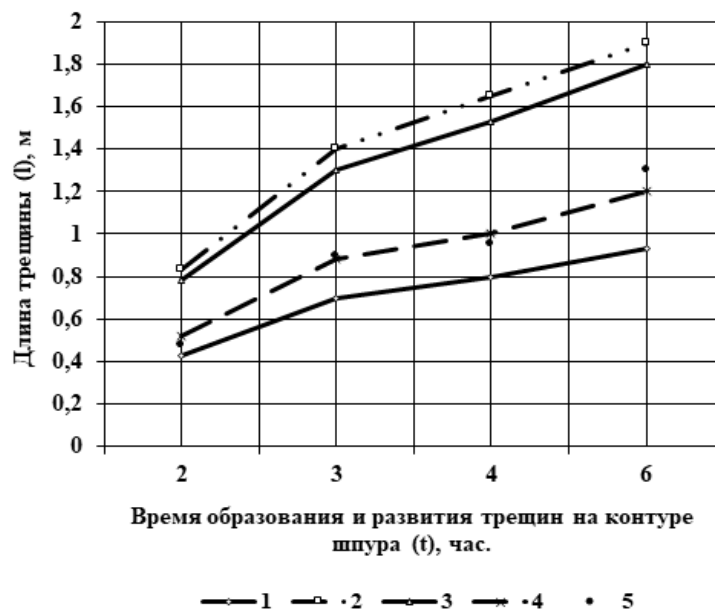
$$l = \frac{d}{2} \cdot l \sqrt{\frac{1 + (26,07 \cdot \lg t - 1,54) \cdot \frac{2 \cdot \eta}{\eta + \sqrt{\eta^2 - 1}} \cdot \left(\frac{d}{l_1}\right)^{2+n}}{\sigma_p - 1} - 1},$$

где  $\bar{\sigma} = \frac{\sigma_p}{\lambda \cdot \gamma \cdot H}$ , ( $\sigma_p$  – предел прочности пород на растяжение, МПа);  $H$  – глубина ведения работ, м,  $\gamma$  – удельный вес пород, МН/м<sup>3</sup>;  $\eta = d/l_1$ , ( $d$  и  $l_1$  – соответственно, диаметр шпура и ширина пластины),  $l_0$  – расстояние от центра шпура до пластины, м (малая полуось эллипса),  $d$  – диаметр шпура, м (большая ось эллипса),  $n$  – показатель материала концентратора ( $n = \sin \varphi$ ,  $\varphi$  – угол внутреннего трения гипса).

Тогда расстояния между шпурами для создания направленной трещины составят:  $a = 2l$ .

На основании полученной формулы были построены графики изменения длины трещины со временем для шпуров диаметром 42 мм при одном концентраторе напряжений (металлическая вставка, рисунок 2, кривая - 1) и двух параллельных концентраторов при их различном расстоянии от центра шпура (рисунок 1, кривые 2-4).

Из графиков на рисунке 2 видно, что с увеличением времени нарастания нагрузки на контуре шпура от действия НРС длина прорастания трещины при установке в шпур двух параллельных концентраторов напряжений увеличивается в 1,1-2 раза в зависимости от их расстояния от центра шпура по сравнению с одним концентратором (рисунок 2, кривая -1).



**Рисунок 2 -** Графики изменения длины трещины ( $l$ ) от времени её образования и развития ( $t$ ) для шпура диаметром 42 мм с одной вставкой (кривая - 1) и с двумя параллельными вставками при расстоянии между ними: 7 мм - кривая 2; 11 мм - кривая 3 и 15 мм - кривая 4, 5 - экспериментальные данные, полученные в условиях гипсового рудника

### Выводы

1. Повышение эффективности направленного раскола достигается за счет концентрации напряжений в самом шпуре на стенках или на контуре шпура по плоскости намечаемого раскола или за счет создания зон ослабления в массиве, в плоскости предлагаемого раскола.

2. Использование стальных вставок специальной формы, обеспечивает направленное воздействие на разрушаемый объект и создает раскол в заданной плоскости массива горных пород. При этом сокращается расход НРС, что особенно важно при разрушении анизотропных горных пород в заданном направлении.

3. Для образования направленной трещины на контуре шпура при применении НРС рекомендуем устанавливать в шпур концентраторы напряжений в виде параллельных друг другу пластин в плоскости предполагаемого раскола пород.

4. Длина прорастания трещины на контуре шпура от совместного действия напряжений гравитационного поля и НРС зависит от прочностных свойств пород, радиуса шпура, геометрических размеров и количества концентраторов напряжений и изменяется со временем по логарифмическому закону. При этом её величина увеличивается в 1,1-2 раза при установке в шпур двух параллельных концентраторов напряжений в виде металлических пластин, чем при использовании одного концентратора (пластины).

**Список литературы:**

1. *Сахно И.Г.* Научные основы управления состоянием горных пород невзрывчатыми разрушающими смесями при подземной разработке месторождений. // Дисс. докт. техн. наук. – Красноармейск, 2015. – 457 с.
2. *Боровков Ю.А., Исмаилов Т.Т., Ганжаргал С.* Разработка конструкции концентраторов напряжений при направленном расколе гипсовых пород с помощью невзрывных разрушающих смесей. // Записки горного института: Экология и рациональное природопользование. - Санкт-Петербург. – 2005. - Т. 16.

## **2.18. САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

### **НАПРАВЛЕНИЕ: ХИМИЯ И НАУКА О МАТЕРИАЛАХ**

#### **Технологические основы извлечения и селекции стратегически значимых редкоземельных элементов из продуктов апатитового производства**

*Авторы: Черемисина О.В., Литвинова Т.Е., Сергеев В.В., Пономарева М.А., Луцкий Д.С., Федоров А.Т., Алферова Д.А., Лукьянцева Е.С., Машукова Ю.А.*

Разработана технология получения соединений индивидуальных редкоземельных элементов (РЗЭ) тяжелой группы из полупродукта переработки апатитового концентрата – фосфорнокислых растворов, которая включает в себя стадии экстракционного концентрирования и разделения РЗЭ, очистки органической фазы и повышения емкости по целевым компонентам; реэкстракционного концентрирования и разделения РЗЭ, получения соединений иттербия, диспрозия, иттрия и эрбия со степенью чистоты 99,99%, зависящей от количества стадий экстракции.

Разработан алгоритм моделирования экстракционных процессов в виде много(двух)фазных химических реакций с приложением закона действующих масс, результатом которого является определение термодинамических параметров межфазных процессов применительно к технологическим объектам со сложным химическим и вещественным составом, позволяющих прогнозировать эффективность технологических мероприятий.

Значимость работы заключается в повышении эффективности извлечения РЗЭ из кислых фосфатных сред путем установления кинетических закономерностей распределения целевого и сопутствующих компонентов в неравновесных условиях, позволяющих существенно снизить экстракцию технологических примесей, сократить расход органических экстрагентов и упростить аппаратное оформление.

Прогноз применения: Планируемые результаты имеют значение для развития теории и практики производства редкоземельной продукции с получением импортозамещающих товаров на основе развития отечественного минерально-сырьевого комплекса и использования материалов техногенного происхождения химико-металлургических производств и отраслей.

**Список литературы:**

1. Патент РФ № 2713766, опубл. 07.02.2020, описывающий способ отделения иттрия и иттербия от примесей титана в процессе экстракционного извлечения тяжелых редкоземельных металлов (РЗМ) из экстракционной фосфорной кислоты (ЭФК) апатитового производства.
2. Патент РФ № 2752770, опубл. 03.08.2021, описывающий способ извлечения (РЗМ) при переработке апатитового концентрата с применением твердых экстрагентов, импрегнированных ди-2-этилгексилфосфорной кислотой (Д2ЭГФК) из ЭФК апатитового производства.
3. Патент РФ № 2763074, опубл. 27.12.2021, описывающий способ комплексной переработки фосфогипса с получением товарного продукта в виде смеси соединений РЗЭ и жидкую фазу сульфатно-карбонатного раствора.

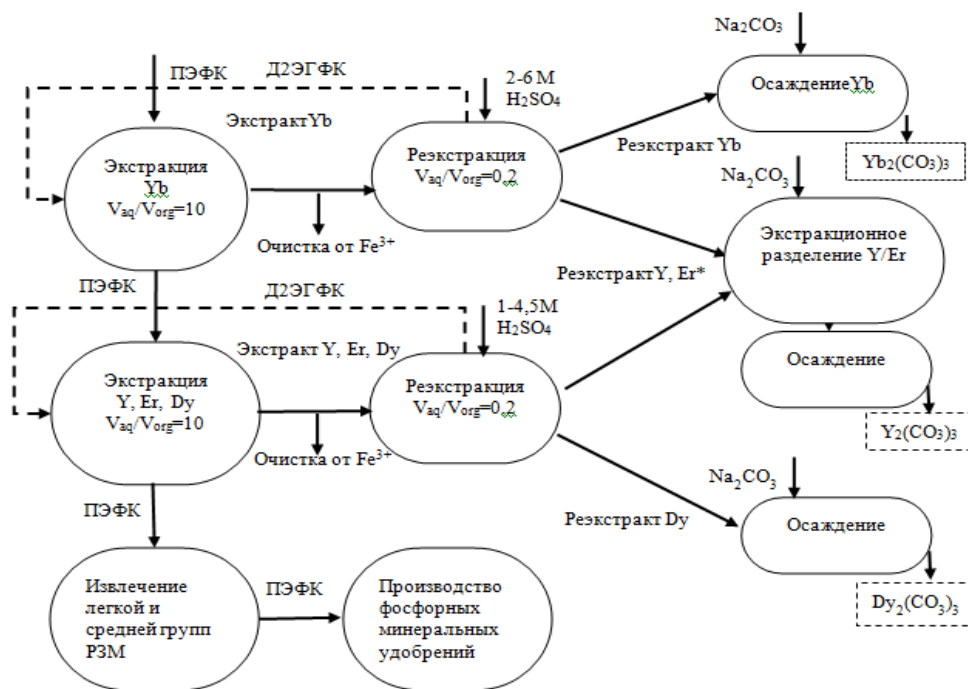


Рисунок 1 - Технология получения соединений индивидуальных редкоземельных элементов (РЗЭ) тяжелой группы из полупродукта переработки апатитового концентрата

**НАПРАВЛЕНИЕ: ГОРНОЕ ДЕЛО, ОБОГАЩЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

**Адаптивный подход для повышения энергоэффективности процессов переработки минерального сырья с использованием систем машинного зрения и искусственного интеллекта**

**Авторы: Александрова Т.Н., Николаева Н.В., Ромашев А.О., Кузнецов В.В.**

Разработан адаптивный подход по автоматической инициализации показателей селективного разрушения с прогнозом значения крупности измельчения с использованием систем машинного зрения и искусственного интеллекта, а также обоснованы комплексные критерии оценки эффективности процессов дезинтеграции и сепарации минерального сырья различного генезиса.

**Новизна:** Разработан алгоритм расчета и программное обеспечение для автоматической инициализации показателей, с использованием технологии машинного зрения, позволяющий сменить парадигму тестирования пульпы, а также установить параметры гамма - распределения полезных компонентов по продуктам.

**Значимость:** Разработка технологических основ выбора схем рудподготовки с учетом результатов имитационного моделирования и систем обезвоживания тонкодисперсных пульп на основе управления получаемыми показателями переработки без установки дорогостоящих датчиков и аналитического оборудования.

**Прогноз применения:** Планируется реализовать на предприятиях горно-перерабатывающего сектора для повышения эффективности процессов рудподготовки, точности текущего контроля и повышения рентабельности переработки.

#### Список литературы:

1. Программа для ЭВМ № 2022611146 Программа для определения кинетических параметров деструкции минерального сырья / Александрова Т.Н., Гатиатуллин Б.Л., Ромашев А.О., Оpubл. 20.01.2022. Бюл. № 1.

2. Ромашев А.О., Николаева Н.В., Гатиатуллин Б.Л. (2022). Формирование адаптивного подхода с применением технологии машинного зрения для определения параметров осаждения продуктов обогащения. Записки Горного института, 256, 677-685. <https://doi.org/10.31897/PMI.2022.77>.

3. Александрова Т.Н., Чантурия А.В., Кузнецов В.В. (2022). Минералогические особенности и закономерности селективного разрушения железистых кварцитов Михайловского месторождения. Записки Горного института, 256, 517-526. <https://doi.org/10.31897/PMI.2022.58>.



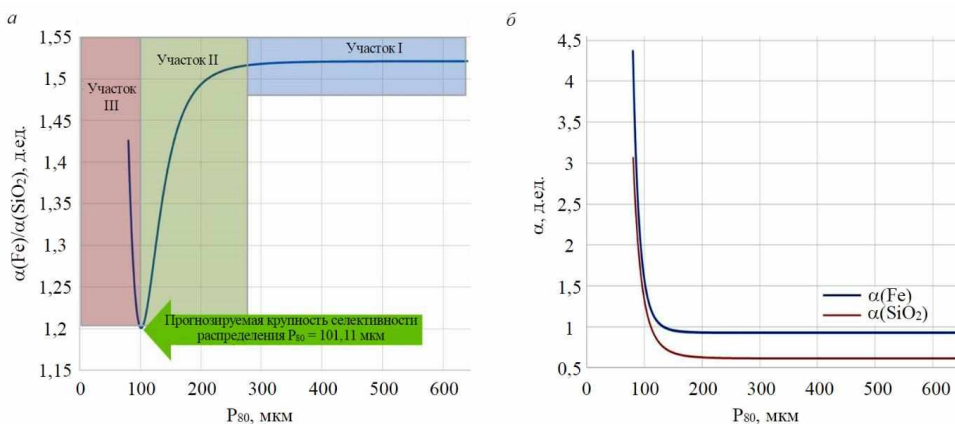


Рисунок 2 - Зависимость содержания Fe и SiO<sub>2</sub> и их отношения от значения P80

**НАПРАВЛЕНИЕ: НАУКИ О ЗЕМЛЕ**

**Комплексная технология и технические средства исследования  
подледниковых водоемов антарктиды**

*Авторы: Литвиненко В.С., Трушко В.Л., Большунов А.В., Шишкин Е.В., Тимофеев И.П., Игнатьев С.А.*

Разработана комплексная технология экологически безопасного проникновения в подледниковые водоемы Антарктиды, включающая бурение скважин доступа, доставочные модули и исследовательские устройства для отбора проб воды, донных отложений и кернов подстилающих пород и их доставки на поверхность.

Технология и технические средства позволяют выполнять стерильный отбор проб воды, донных отложений и кернов с сохранением условий природной среды при их доставке на поверхность и имеют возможность перемещения по дну водоемов с адаптацией к условиям донной поверхности.

Значимость заключается в том, что фундаментальные исследования подледниковых водоемов Антарктиды, изолированных от воздействия земной атмосферы более 10 миллионов лет, позволят получить уникальные новые знания мирового уровня о глобальных изменениях природной среды планеты и эволюции жизни на Земле.

Прогноз применения: Планируется реализовать при комплексном исследовании подледникового озера Восток в соответствии со Стратегией развития деятельности Российской Федерации в Антарктиде до 2030 года.

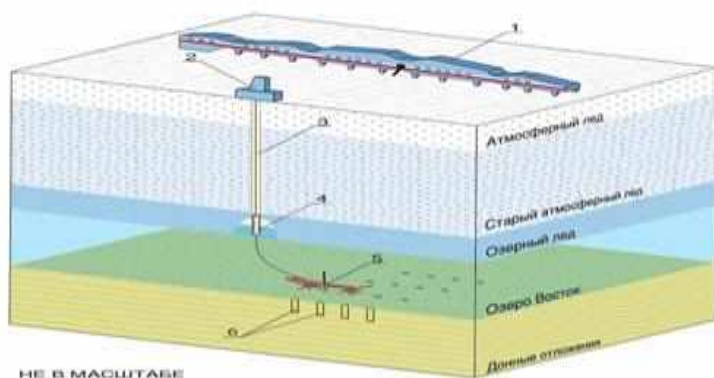


Рисунок 3 - Технология отбора проб донной поверхности подледникового озера Восток:  
1 – новый зимовочный комплекс станции Восток; 2 – новый буровой комплекс;  
3 – скважина доступа; 4 – доставочный снаряд; 5 – научно-исследовательский модуль;  
6 – сетка скважин

**Список литературы:**

1. Патент № 2779170 Способ бурения скважин в ледниковом покрове / *В.С.Литвиненко, В.Л.Трушко*. Оpubл. 05.09.2022. Бюл. № 25.
2. Патент № 2780038 РФ. Шагающий пробоотборник / *И.П.Тимофеев, А.В.Большунов, Е.В.Шишкин и др.* Оpubл. 19.09.2022. Бюл. № 26.

3. Патент № 214112 РФ. Шагающее устройство для исследования донной поверхности подледниковых водоемов / *Е.В.Шишкин, А.В.Большунов, С.А.Игнатьев и др.* Опубл. 12.10.2022. Бюл. № 29.

4. *Шишкин Е.В., Большунов А.В., Тимофеев И.П., Авдеев А.М., Ракитин И.В.* Модель шагающего пробоотборника для исследования донной поверхности подледникового озера Восток // Записки Горного института. - 2022. - Т. 257. - С. 853-864. DOI: 10.31897/PMI.2022.53.

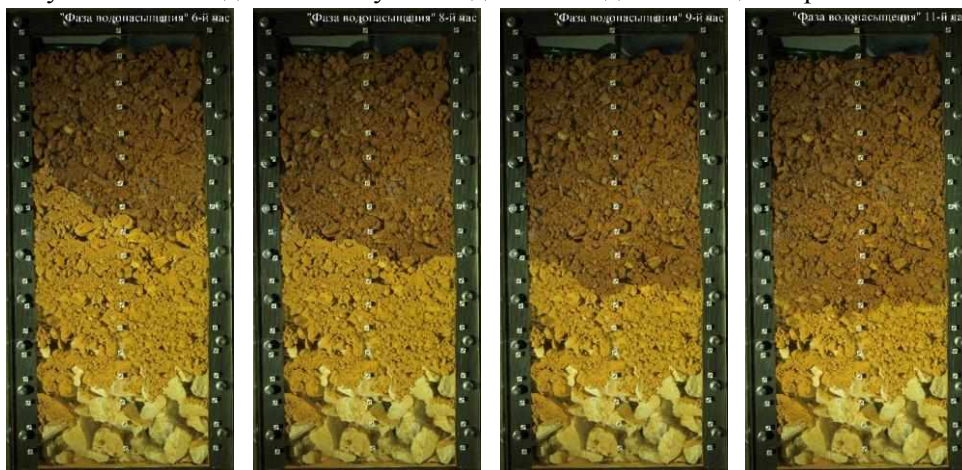
#### **Методология лабораторных исследований фильтрационных свойств окомкованных песчано-глинистых руд и режимов фильтрации в штабеле кучного выщелачивания**

*Авторы. Маринин М.А., Поспехов Г.Б., Сушкова В.И.*

Представлены результаты изучения факторов, определяющих формирование и изменение фильтрационных свойств штабеля кучного выщелачивания, сформированного из окомкованных бедных песчано-глинистых руд. Выполнен анализ методов исследования фильтрационных свойств рудного материала для разных этапов функционирования участков кучного выщелачивания. Опытно-фильтрационными работами установлено влияние процесса сегрегации при отсыпке штабеля на формирование зон с сильно отличающимися параметрами проницаемости руды. С помощью моделирования просачивания растворов при различной интенсивности орошения выполнены обоснования оптимальных параметров штабеля с точки зрения его геомеханической устойчивости и предупреждения подъема уровня растворов выше дренажного слоя. В рамках исследования разработан и запатентован стенд.

*Описание стенда.* Устройство для лабораторного определения геотехнических и фильтрационных характеристик глинистых окомкованных руд, подлежащих переработке методом кучного выщелачивания, содержит рабочую камеру (стенд) для размещения рудного материала и дренажного слоя, емкость и систему для подачи жидкости. Стенд выполнен из металлического каркаса и боковых прозрачных стенок из оргстекла, которые скреплены между собой болтовыми соединениями и могут сниматься для выгрузки материала после проведения опыта, встроенные счетчики воды фиксируют значения поступающих и выходящих объемов жидкости в процессе опыта, при этом процесс опыта фиксируется при помощи таймлапс съемки на видео или фотокамеру с последующей передачей данных на персональный компьютер и их обработкой.

*Прогноз применения.* Предложенный метод прогноза фильтрационных процессов в штабеле кучного выщелачивания, основанный на определении фильтрационных показателей среды по данным масштабных лабораторных исследований на стендовом оборудовании и их изменчивости по глубине штабеля на основании полевых испытаний, позволяет качественно повысить достоверность результатов расчетов скорости фильтрации, определения допустимой интенсивности орошения и возможности формирования водоносного горизонта внутри тела штабеля. Результаты исследования актуальны для золотодобывающей отрасли России.



**Рисунок 4 - Устройство для определения характеристик песчано-глинистых руд**

#### **Список литературы:**

1. «Устройство для определения характеристик песчано-глинистых окомкованных руд» Патент № 2779166. Дата выдачи: 05.09.2022

## **НАПРАВЛЕНИЕ: ЭНЕРГЕТИКА, МАШИНОСТРОЕНИЕ, МЕХАНИКА И ПРОЦЕССЫ УПРАВЛЕНИЯ**

### **Метод определения долевых вкладов потребителей с нелинейными нагрузками**

**Авторы: Шклярский Я.Э., Скамьин А.Н., Добуш В.С.**

Разработан метод определения долевых вкладов потребителей с нелинейными электрическими нагрузками, основанный на подключении пассивного фильтра гармоник шунтирующего типа и измерении токов вводного присоединения и пассивного фильтра.

Метод определения долевых вкладов потребителей с нелинейными электрическими нагрузками не требует необходимости определения сопротивления электрической сети и позволяет определять вклады потребителей независимо от наличия внешних источников искажений.

**Значимость:** метод может быть использован на промышленных предприятиях и в электрических сетях, к которым подключены потребители с нелинейными электрическими нагрузками и распределенными источниками электроэнергии. Выявление искажающих токов нелинейной нагрузки приведет к более достоверному и справедливому определению источника высших гармоник в сравнении с мировыми методиками и нормативными документами. Кроме этого, решение такой задачи необходимо при выборе места подключения и параметров корректирующих устройств для компенсации искажений.

**Прогноз применения:** Планируется реализовать при комплексном повышении качества электрической энергии в сетях горных предприятий для выявления долевых вкладов источников искажений в распределительных сетях и выбора мест подключения и параметров корректирующих устройств.



**Рисунок 5 - Лабораторный пассивный фильтр гармоник**

#### **Список литературы:**

1. Патент № 2782157 Способ оценки долевого вклада источников искажений в напряжение питающей сети / *Скамьин А.Н., Шклярский Я.Э., Добуш В.С.* Опубл. 21.10.2022. Бюл. №30.

### **2.19. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ТУЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

#### ***Кафедра геотехнологий и строительства подземных сооружений***

В 2022 году кафедра геотехнологий и строительства подземных сооружений продолжила активную работу как в области научных исследований, так и при реализации модели профессионального образования и подготовки кадров высшей квалификации по приоритетному направлению развития науки, технологии и техники РФ – рациональному природопользованию. Исследования кафедры соответствуют критическим технологиям РФ «Технологии поиска, разведки, разработки месторождений полезных ископаемых и их добычи» и «Технологии мониторинга и прогнозирования состояния окружающей среды, предотвращения и ликвидации ее загрязнения».

На кафедре стабильный (на протяжении последних 5 лет) состав штатных преподавателей – 10 человек. На декабрь 2022 г. за кафедрой закреплено 11 аспирантов очной и заочной формы обучения и 1 докторант. Руководство аспирантурой осуществляют 6 докторов наук.

Подготовка кадров высшей квалификации на кафедре ведется по четырем направлениям и пяти профилям: направление 05.06.01 «Науки о земле», профиль 25.00.36 «Геоэкология (в горно-перерабатывающей промышленности)»; направление 15.06.01 «Машиностроение», профиль 05.05.06 «Горные машины»; направление 20.06.01 «Техносферная безопасность», профиль 05.26.01 «Охрана труда (в горно-перерабатывающей промышленности)»; направление 21.06.01 «Геология, разведка и разработка полезных ископаемых», профили 25.00.20 «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика» и 25.00.22 «Геотехнология (подземная, открытая и строительная)». Успешная реализация программ подготовки кадров основывается на работе двух диссертационных советов на базе ТулГУ Д 212.271.04 и Д 212.271.16.

За отчетный год произошли следующие изменения. Набор в аспирантуру осуществлялся по трем научным специальностям: 1.6.21 «Геоэкология» (группа научных специальностей 1.6 «Науки о Земле и окружающей среде»); 2.8.6 «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика» и 2.8.8 «Геотехнология, горные машины» (группа научных специальностей 2.8 «Недропользование и горные науки»); диссертационный совет Д 212.271.16 получил новый шифр Д 24.2.417.04.

При выполнении ряда научно-исследовательских и диссертационных работ были проведены комплексные исследования, общие результаты которых сводятся к следующему.

В области *аэрогазодинамики, горной теплофизики, подземной геотехнологии и геоэкологии* были уточнены закономерности влияния геотехнологических факторов на окружающую среду и воздействия газодинамических и теплофизических процессов, формирующихся в выработанных пространствах действующих и ликвидированных шахт, на приземный слой атмосферы для прогнозирования экологических последствий по аэрологическому фактору и разработки профилактических мероприятий.

#### Основные выводы и результаты:

1) разработаны методические принципы оценки воздействия атмосферы выработанных пространств на приземный слой атмосферного воздуха, которые позволяют реализовывать единый подход к прогнозированию загрязнения воздушного бассейна на территориях горных отводов ликвидированных угольных шахт и оценить неорганизованные выбросы газовых примесей в атмосферу в различные периоды после закрытия шахт;

2) разработаны математические модели, основывающиеся на дифференциальных уравнениях в частных производных параболического типа, позволяющие прогнозировать уровень воздействия подземной угледобычи на приземный слой атмосферы при различных сценариях формирования газовой среды выработанных пространств;

3) установлено, что скорость метановыделения на земной поверхности из подработанной толщи представляет собой функцию фильтрационного критерия Фурье, которая стремится к асимптотическому значению, зависящему от газовой проницаемости подработанных пород, свойств газа и углового коэффициента в «гидростатическом» законе изменения давления метана в угленосной толще;

4) выявлено, что миграция диоксида углерода в подработанных горных породах происходит при падении атмосферного давления и обусловлена одномерным конвективно-диффузионным переносом в полубесконечном пространстве; при этом скорость газовой выделению пропорциональна скорости падения атмосферного давления;

5) доказано, что предельное значение диффузионного потока оксида углерода будет зависеть от глубины залегания отработанного пласта, диффузионных свойств подработанных пород и концентрации угарного газа в выработанном пространстве;

6) по результатам вычислительных экспериментов установлено, что динамика поступления атмосферного кислорода в угольное скопление на поверхностях техногенных массивов за счет диффузии имеет монотонно убывающий вид, а диффузионный поток стремится к асимптотическому значению, зависящему от диффузионных и сорбционных характеристик угля;

7) разработана методология прогноза самовозгорания угля, в основу которой положено, что критерием опасности возникновения эндогенного пожара предлагается считать достижение в

процессе самонагрева угля критической температуры, соответствующей переходу низкотемпературного окисления в стадию возгорания; при этом выявлено, что нестационарный продольный профиль температуры имеет точку максимума, мигрирующую вглубь рассматриваемого угольного скопления и увеличивающуюся до некоторого фиксированного значения, обусловленного установившимся распределением температуры в угольном скоплении.

В области *геоэкологии* и *строительной геотехнологии* уточнены закономерности воздействия строительных объектов метрополитена на окружающую среду и разработаны технические решения, обеспечивающие экологическую безопасность с учетом фоновых значений действующих техногенных факторов.

Основные выводы и результаты:

1) выявлено, что особенностью формирования экологической обстановки при сооружении объектов метрополитена в мегаполисах является сочетание неблагоприятных фоновых параметров окружающей среды, связанных с влиянием негативных природных и техногенных факторов, определяемых горно-геологическими условиями и воздействием городской инфраструктуры, непосредственным влиянием на окружающую среду оборудования и технологических процессов, используемых в процессе строительства;

2) одни из важнейших моментов проектирования и строительства инженерных сооружений в условиях урбанизации следует осуществлять на основе методов интерполяции и №D-моделирования;

3) стоимость бурения и проведения химического анализа может быть компенсирована за счет снижения величины предотвращенного ущерба, связанного с сокращением негативного влияния на окружающую среду грунтов «чрезвычайно-опасной» и «опасной» степени загрязнения.

В области *геотехнологии*, *аэрогазодинамики* и *горнопромышленной геологии* решена крупная научная проблема количественной оценки газодинамической активности угольных пластов для обеспечения безопасности добычи угля и эффективной отработки высокогазоносных угольных пластов. Решение данной проблемы стало возможным за счет разработки методов энергетического анализа и прогноза газодинамической активности метаноносных угольных пластов Кузбасса, основывающихся на установленной взаимосвязи между геомеханическими и физико-химическими массообменными процессами в многофазных угольных пластах разной стадии метаморфизма при их отработке на разных глубинах и температурном фоне.

Основные выводы и результаты:

1) установлено, что изменения в градиенте выхода летучих веществ с глубиной связаны с особенностями проявления регионального термометаморфизма для углей и их геологического возраста. При этом получены аналитические выражения для расчета параметров метаноемкости и метаноносности на основе уравнения Ленгмюра для Кузнецкого, Донецкого и Львовско-Волынского угольных бассейнов, в которых установлена параболическая связь с выходом летучих веществ с экстремумом при  $V^{daf}=25\%$ ;

2) установлено, что зоны повышенной выбросоопасности угля и метана характеризуются бифуркацией пористости, влажности и параметров метаноемкости углей, заключающейся в смене градиентов этих показателей при величинах пористости  $\approx 6\%$ , аналитической влажности 1,0-1,3%, предельной метаноемкости  $18 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{кг}$  для Кузнецкого и  $18,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{кг}$  для углей Донецкого и Львовско-Волынского бассейнов;

3) получены выражения для расчета структуры метаноносности угольного пласта по формам существования метана с учетом напряженного состояния пластов; при этом доказано, что сорбционная гипотеза углей работоспособна только на глубинах до 300 м;

4) уточнена оценка ресурсов угольного метана Кузнецкого бассейна по геолого-экономическим районам для различных стратиграфических структур;

5) установлено, что не более 85% метана в угле находится в связанном состоянии; выявлено, что если на глубинах 300 м около 50% метана в угольном пласте находится в адсорбированном состоянии, то на глубинах 800 м его доля снижается до 20%; эта часть метаноносности представлена не поверхностным слоем сорбированного метана и его свободной фазой, а входит в текстуру трещинно-пористого скелета, что позволяет считать эту часть газа компонентом твердого раствора;

6) доказано, что значения удельных релаксаций метаноносности и метаноемкости угля тесно коррелируют с уровнем выбросоопасности углеметаноносных пластов основных стратиграфических структур Кузбасса. Выявлено, что в доленой форме удельная релаксация метаноемкости для



каменных углей оставляет менее 4%. Показано, что увеличение влажности углей на 1-2% способно снизить энергию газовой компоненты пласта до 2-х раз;

7) проведен комплекс температурных исследований эволюции полей микродеформаций на угольных образцах при одноосном сжатии, в результате которого установлено:

- практически с самого начала нагружения со скоростью около  $3,3 \cdot 10^{-6}$  м/с в угольных образцах возникают низкочастотные процессы внутреннего микродеформирования, амплитуда таких деформационно-волновых процессов возрастает с увеличением уровня напряжений;

- в нагруженных образцах угля имеется подобие картин распределения температуры и микродеформаций;

- метаноносные пласты средней стадии метаморфизма при деформациях нагреваются до 7 раз быстрее, чем бурые угли;

- возникающие от землетрясения низкоскоростные (до 1 м/с) группы волн маятникового типа способны индуцировать повышенную газообильность в угольных шахтах;

8) доказано, что при нагревании угольных образцов температурные интервалы от 40 до 60°C и от 480 до 500°C генетически предопределены метаморфизмом угля. Явлениям самовозгорания углей при повышенных температурах, а также взрыву метана предшествует скрытая активизация газообразных компонентов, в результате которой образуются ацетилен, пропан, пропилен, этилен с температурой самовоспламенения от 330°C даже без доступа кислорода;

9) установлен комплексный энергетический показатель газодинамической активности угольного пласта, структура и количественные показатели которого позволяют выполнять зонирование и картирование пластов по уровню их газодинамической активности, вплоть до уровня выбросоопасности.

#### ***В 2022 году получены следующие научно-технические результаты:***

- подготовлены и защищены 1 докторская и 2 кандидатские диссертации;

- изданы 1 монография и 4 подписных издания «Известия ТулГУ. Науки о земле» (издание «Известия ТулГУ. Науки о Земле» включено в международную базу цитирования Web of Science, статьям присваивается индекс DOI);

- изданы 1 учебник (Расчет и проектирование герметических щитов и проходческих комбайнов: учебник / *А.Б. Жабин, Ан.В. Поляков, Ал.В. Поляков*. Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2022. 424 с. ISBN 978-5-9729-0837-0) и 4 учебных пособия объемом 52,7 усл.-печ. листов;

- публикационная активность: количество статей в научных периодических изданиях, включенных в международную базу цитирования Scopus – 6; количество статей в научных периодических изданиях, включенных в международную базу цитирования Web of Science – 12; количество статей в журналах, принадлежащих к первым двум квартилям международных баз цитирования Web of Science и Scopus – 2; количество статей в научных периодических изданиях, включенных в международную базу цитирования РИНЦ – 22; получен 1 патент на изобретение;

- по результатам обучения в аспирантуре подготовлены 3 аспиранта, получившие квалификацию «Преподаватель. Преподаватель-исследователь»;

- 4 команды из студентов кафедры (16 человек) приняли участие в Открытом отборочном этапе X Международного инженерного чемпионата «CASE-IN» (Лига по горному делу), одна из команд участвовала в полуфинале Международного чемпионата.

## **2.20. ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (ДВФУ)**

**Геомеханика.** В 2022 году в Международном Центре геомеханики сильно сжатых горных пород и массивов Политехнического института (Школы) ДВФУ, в соответствии с Программой развития получены следующие результаты:

1. Создана Лаборатория подготовки образцов горных пород, в результате чего Центр представляет собой в настоящее время комплекс подразделений, включающих Лабораторию сильного сжатия, Лабораторию геоматериалов, глубокорасположенный геодинамический полигон (рудник Николаевский, г. Дальнегорск) и Лабораторию подготовки образцов горных пород.

2. Продолжены исследования состояния сильного сжатия образцов горных пород комплексным акустико-эмиссионным и деформационным методом и установлены закономерности формирования мезотрещинных структур контрастного типа в предразрушающей области нагружения.

3. Установлен симметричный относительно горизонтальной оси очаговой области подготовки макроразрушения характер реверсивных деформаций второго типа.

4. Доказана возможность использования реверсивных деформаций образцов горных пород в качестве очагового предвестника макроразрушения образцов горных пород при одноосном сжатии.

5. Опубликовано 3 статьи в высокорейтинговых рецензируемых журналах (базы Web of Science & Scopus).

6. Проведены международные он-лайн семинары по вопросам Геомеханики сильно сжатых горных пород и массивов.

**Строительная геотехнология.** Продолжены исследования в области рационального освоения подземного пространства мегаполисов. С участием проектных организаций г. Москва разработаны проекты подземных сооружений г. Владивосток, являющиеся альтернативой строительства транспортной системы программы Большой Владивосток. По результатам совместной работы сделаны доклады на защите дипломных проектов специальности «Шахтное и подземное строительство». В июле 2022 года были выполнены работы по исследованию состава рудничной атмосферы Николаевского рудника АО «ГМК «Дальполиметалл».

**Рудничная аэрология.** В июле 2022 года были выполнены работы по исследованию состава рудничной атмосферы Николаевского рудника АО «ГМК «Дальполиметалл».

Целью проведения работ является изучение газовой обстановки в атмосфере рудника «Николаевский» при ведении горных работ в отметках гор. -420 м - 460 м и прогнозирование ситуации при вскрытии запасов наклонной автотранспортной выработкой до отметки гор. -520 м.

Основными задачами исследования являлись:

- изучение газовой ситуации на руднике по материалам предыдущих газовых съемок и оперативного контроля службы ПВС рудника;
- выполнение газовой съемки по выработкам, определенным администрацией рудника;
- анализ полученных результатов;
- разработка рекомендаций и мероприятий по прогнозу газовой обстановки и безопасности ведения горных работ, и вскрытия запасов месторождения отметках -460□ -520 м.

Газовая съемка проведена работниками службы ПВС рудника «Николаевский», Филиала «ВГСО ДВ» ФГУП «ВГСЧ» и отделения горного и нефтегазового дела Политехнического института ДВФУ.

Отбор проб проводился в определенных администрацией рудника местах работниками Дальнегорского ВГСВ Филиала «ВГСО ДВ» ФГУП «ВГСЧ».

Обработка проб воздуха произведена в контрольно-испытательной лаборатории Дальнегорского ВГСВ портативным газовым хроматографом «Хроматэк-Газохром-2000».

Работниками кафедры горного дела и комплексного освоения георесурсов Политехнического института были выполнены следующие работы:

- изучены материалы экспресс-контроля состояния рудничной атмосферы, постоянно осуществляемого службой ПВС рудника в соответствии с разработанными на предприятии профилактическими мероприятиями на 2021-2022 гг.;
- проанализированы полученные результаты лабораторных исследований;
- установлено отсутствие выделений взрывоопасных газов и проявлений диоксида углерода в пределах допустимых концентраций в течение всего периода ведения наблюдений за состоянием рудничной атмосферы;
- разработаны мероприятия и даны рекомендации по контролю состояния рудничной атмосферы при вскрытии запасов в отметках -460□ -520 м наклонной автотранспортной выработкой.

**Обогащение и глубокая переработка георесурсов.** Продолжилось проведение исследований бурых углей и торфов Приморья в качестве основных исходных материалов экстракции для получения угольных и торфяных гуминовых препаратов. Исследованы возможности диверсификации действующих предприятий по добыче бурых углей за счет глубокой переработки сырья и выпуска гуминовых препаратов.

Продолжены исследования по применению компонентов гуминовых и фульвокислот бурых углей и торфов в качестве базы удобрений для низкоэмиссионного земледелия. Проведены исследования по анализу влияния гуминовых веществ бурых углей и торфов на эмиссию CO<sub>2</sub>. Разработана базовая концепция использования гуминовых препаратов для сохранения и восстановления органического углерода в почве (SOC). Подготовлено обоснование для полевых

исследований эмиссионного эффекта гуминовых препаратов в рамках карбонового полигона ДВФУ (о. Русский).

Начата работа по проекту Агробиоинженерные CRF:

- технологии для органического сельского хозяйства в рамках Программы Приоритет 2030 ДВФУ:

- «Фундаментальные проблемы биологической безопасности на Дальнем Востоке России и в Восточной Азии, включая исследование вопросов продовольственной безопасности»;

- «Исследование наземных экосистем Дальнего Востока и прилегающих территорий в интересах поддержания экологического равновесия и использования их ресурсов в пищевой промышленности».

Проект связан со стратегическим проектом «Науки о жизни» (биотехнологии) в части задач использования ресурсов экосистем Дальнего Востока в народном хозяйстве, в том числе в пищевой отрасли и сельском хозяйстве. Разработка агrobiоинженерных SFR - технологий для органического сельского хозяйства направлена на получение эффективных удобрений из местного сырья для производства доступных качественных продуктов с высокой питательной ценностью, обеспечивающих повышение качества жизни и продовольственную безопасность.

Проект обеспечит решение задач стратегического направления Науки о жизни в части обеспечения условий для реализации в ДВФУ на высоком международном уровне конкурентоспособных междисциплинарных исследований и разработок, развития совместных научных программ с ведущими университетами мира, создания точек роста научно-технологического предпринимательства и выведения на рынок конкурентоспособных разработок в области биотехнологий, развития сотрудничества с предприятиями биотехнологического рынка стран АТР, выведения на международный рынок продуктов и прав интеллектуальной собственности.

## **2.21. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ЮГО-ЗАПАДНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

### ***Факультет строительства и архитектуры***

#### **Кафедра экспертизы и управления недвижимостью, горного дела**

За период 2021-2022 учебного года исследования проводились в следующих направлениях:

1. Подготовка специалистов в области горного дела (доц., к.п.н. *Семенова Л.А.*);
2. Проблема гидрогеологических условий эксплуатаций месторождений (проф. *Хаустов В.В.*).

#### **Подготовка специалистов в области горного дела**

За период 2021-2022 учебного года ППС кафедры продолжили исследования в области проблем профессиональной подготовки специалистов по горному делу. Работы *Семеновой Л.А.* посвящены становлению горного образования в России, методам профессиональной подготовки специалистов в области горного дела. Автором издано учебно-методическое пособие «Профессия – горный инженер: история становления и современное развитие». Данное пособие является первым систематическим учебно-методическим пособием, в котором представлены основные материалы по истории развития горного дела и горного образования, истории добычи и переработки полезных ископаемых, выделены особенности профессии горного инженера.

В пособии содержатся сведения о профессиях и профессиональном выборе, определены перспективы развития горного дела, особенности горного производства, специфики деятельности современного горного инженера. Оно направлено на изучение дисциплин «Введение в профессиональную деятельность горного инженера», «Духовная культура специалиста по горному делу», «Профессиональная подготовка специалиста по горному делу».

#### **Проблема гидрогеологических условий эксплуатаций месторождений**

В работах проф. д.г.-м. наук *Хаустова В.В.* описана оценка прогнозируемых потоков воды на месте проектируемых отвалов горных пород, которая была проведена с использованием моделирования геофильтрации. При разработке модели использовались фактические данные о мощностях, коэффициентах фильтрации и водоемкости, отметках кровли и подошвы выбранных водоносных горизонтов, инфильтрации осадков, а также о том, какие проектируемые отвалы расположены на поверхности склона. Авторы схематизировали гидрогеологические условия

фильтрации применительно к существующим природным условиям с учетом планируемого строительства и эксплуатации отвалов, а также определили максимальный приток подземных и поверхностных вод в дренажную систему. На основании полученных данных разработан наиболее эффективный вариант дренажной системы для отвода подземных и поверхностных вод с территории свалок, который позволит осуществлять максимально возможный перехват потока подземных вод и паводковых вод, формировать поверхности впадин.

Были продолжены исследования смещения и деформации горных пород и земной поверхности, которые могут привести к повреждению инженерных сооружений и зданий, объектов горнодобывающей промышленности, увеличению водо- и газопроницаемости горных пород на освоенном пространстве, изменению гидрогеологического режима поверхностных и подземных вод, активизации оползневых процессов.

В работе «Определение границ опасных деформаций и зон сдвижения горных пород на месторождении «Тырныауз» описывается метод определения границ зон движения горных пород на месторождении Тырныауз тунг=стен=молибден. Рассмотрены основные причины и факторы, влияющие на характер развития процесса перемещения горных пород.

Результаты изучения горногеологических, горнотехнических и геомеханических особенностей на площади планируемых работ по возобновлению эксплуатации месторождения вольфрам-молибденовых руд Тырныауз позволили авторам утверждать, что проектируемые системы дальнейшей отработки с закладкой выработанного пространства и поэтажного обрушения руды и налегающих пород, не исключают рисков образования новых зон сдвижений и даже обрушений горных пород и руд в пределах горного отвода.

#### **Список литературы:**

1. **Кононов О.В.** Скарны Тырныауза, минеральные ассоциации и физико-химические условия образования // Докл. АН СССР. - 1976. - Т. 1. - № 1. - С. 51-62.
2. **Курдюков А.А.** Структура Тырныаузского рудного узла // Советская геология. - 1979. - № 7. - С. 110-119.
3. **Ляхович В.В.** Связь оруденения с магматизмом (Тырныауз). М.: Наука. - 1976. - 424 с.
4. **Хаустов В.В.** Подземные воды и глубинная геодинамика Тырныауза. - Курск, изд-во КурскГТУ, 2009. - 180 с.
5. **Хаустов В.В., Лушников Е.А.** Карст мраморов месторождения Тырныауз // Известия Юго-Западного государственного университета. Сер. Техника и технологии. - 2011. - № 1. - С. 76-83.
6. **Khaustov V.V., Ustiugov D.L.** Formation of drainage waters of Tyrnauz deposit in ecological aspect // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2017. Vol. 87. P. 1-5.
7. **Хаустов В.В., Тюнин В.Н., Азарков Н.Б.** О дренажных водах месторождения Тырныауз на эксплуатационной и постэксплуатационной стадиях // Горный журнал. - 2020. - № 10. - С. 100-104.
8. **Sergeev S.V., Zinchenko A.V. & Yurchenko G.Y.** In-situ estimation of stress-strain behavior of reinforced-concrete landing support. EUROCK 2018: Geomechanics and.

## **2.22. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «МАГНИТОГОРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Г.И. НОСОВА»**

### *Институт горного дела и транспорта*

#### **Геотехнология**

Разработана методика обоснования параметров открытой геотехнологии с формированием техногенной емкости для размещения хвостов обогащения руд, обеспечивающая не только добычу твердых полезных ископаемых, но и формирование объектов горнотехнической системы. Методика позволяет определять параметры конструкции ограждающей дамбы техногенной емкости и необходимые объемы пород для ее строительства и создания изоляционного экрана.

Модернизированы способы возведения и укрепления откосов ограждающих дамб техногенной емкости путем создания габионной стены и обоснована методика расчета их устойчивости, использование которой позволяет определить рациональную область применения

габионных конструкций при формировании угла внутреннего откоса ограждающей дамбы до  $89^\circ$  при ее высоте до 25 м. На способ возведения габионной стены получен патент РФ (Патент на изобретение RU 2 791 062 C1).

Раскрыт принцип регулирования режима горных работ с учетом дифференцирования вскрышных пород с учетом их физико-механических характеристик с целью использования в качестве строительного материала для формирования техногенной емкости. Кроме того, разработана динамическая модель управления объемами горной массы в зависимости от дальности транспортирования, типа применяемого подвижного состава и пространственного положения рыхлых и скальных пород в теле дамбы и карьере.

Предложен способ повышения эффективности функционирования горнодобывающего предприятия, обеспечивающий снижение затрат на перемещение пород вскрыши до 18%, площади нарушенных земель до 30% и затрат на аренду земель до 2,2 раз при их попутной рекультивации в период ведения горных работ, за счет одновременной добычи и использования скальных и рыхлых пород вскрыши для формирования техногенной емкости, с целью размещения хвостов обогащения.

Установлено, что повышение полноты и комплексности освоения участка недр при открытой разработке месторождений обеспечивается формированием техногенной емкости заданной конструкции, инженерной системы защиты для размещения хвостов обогащения руд и достигается регулированием режима горных работ на основе учета необходимых объемов вскрышных пород, с требуемыми физико-механическими характеристиками, используемых в ходе ведения горных работ для строительства ограждающей дамбы.

Для условий месторождений ООО «Семеновский рудник» экономический эффект составил 15,8 млн руб. в год, обеспечен за счет одновременного ведения горных работ и формирования ограждающей дамбы техногенной емкости из рыхлых и скальных пород вскрыши, используемых в качестве строительного и изоляционного материала. Экономический эффект подтвержден актом предприятия и оформлен в установленном порядке.

В результате сравнительного анализа геологоразведочных данных геологического отчета 1929-1958 гг. и данных эксплуатационной разведки на Агаповском месторождении известняка, проведенной в последние годы разработки месторождения, выявлены значительные расхождения по мощности карста. На западном участке это расхождение составляет в среднем более чем в 2 раза. Таким образом, мощность карста на участках оставшихся запасов месторождения значительно больше, чем предполагается по официальным данным. Средний коэффициент вскрыши по участкам оставшихся запасов месторождения фактически в 3 раза выше официальных значений. Учитывая наличие большого объема карста по горизонтам определено, что развитие горных работ, ориентированное на старые геологические данные, не соответствует заданным требованиям по обеспечению производительности и качества сырья и требует выработки оптимальных решений по формированию и направлению фронта горных работ.

Была выполнена эксплуатационная разведка на западном участке карьера путем бурения 15 скважин с отбором керна и последующим лабораторным испытанием свойств пород. По результатам разведки отстроены продольные и поперечные разрезы.

Разработаны четыре возможных варианта развития горных работ на участке, отличающиеся направлением фронта работ. Целью разработки данных вариантов являлся поиск возможных решений по регулированию производительности карьера по вскрышным породам при разработке Западного участка. Данные варианты предусматривают различные текущие коэффициенты вскрыши в первые 5-10 лет отработки. Диапазон изменения текущего коэффициента вскрыши по рассматриваемым вариантам составляет от 0,34 до 0,52  $\text{м}^3/\text{м}^3$ .

Для условий Агаповского карьера рекомендовано изменение технологического процесса выемочно-погрузочных работ. Для этого рекомендуется применение на верхних добычных горизонтах, на которых известняк наиболее загрязнен примесями глины, гидравлических экскаваторов типа «обратная лопата», с вместимостью ковша 2,5  $\text{м}^3$ . Экскаваторы с такой емкостью ковша различных производителей имеют близкие по значениям рабочие параметры. Для рабочих характеристик данных экскаваторов и горнотехнических условий Агаповского месторождения уступ высотой 10 м целесообразно разделить на 3 подступа. При такой схеме высота подступа составит 3-4 м. Особенности залегания полезного ископаемого на Агаповском месторождении не позволяют выделять уступы по контактам полезного ископаемого и вскрыши, поэтому в пределах одного разрабатываемого уступа могут попадать полезное ископаемое и



включения вскрышных пород. Параметры ковша рекомендуемых экскаваторов их конструктивные особенности и рабочие характеристики позволяют прорабатывать данные участки, производить селективную выемку известняка и глинистых пород и улучшить качество известняков, поступающих на переработку.

В качестве дополнительной переработки известняка непосредственно в карьере, для отделения глины от полезного ископаемого, рассмотрены четыре возможных варианта технологических схем: сортировка с удалением мелкой фракции в виде глинистых примесей и мелкого известняка; дробление на валково-зубчатой дробилке после предварительного грохочения и сортировка продукта после дробления; дробление в голове схемы и последующая сортировка; грохочение и рентгеновская сортировка. Окончательно принята к оценке схема, включающая: предварительное грохочение, для удаления крупного материала, практически не содержащего глины, и основное грохочение для удаления фракций известняка с большим содержанием глины. При данной схеме рассмотрены четыре варианта аппаратного обеспечения.

Была рассчитана экономическая эффективность для трех вариантов компоновки комплекса по очистке известняка. Во всех вариантах аппаратного оформления мероприятий по очистке известняка, рассмотренных в технической части, коэффициент сравнительной экономической эффективности значительно превосходит нормативный показатель – 0,2. В первом варианте  $E = 0,997$ ; во втором – 0,9; в третьем – 0,73 и в четвертом – 0,56. Таким образом к реализации может быть принят любой из представленных вариантов. Однако расчеты по двум другим параметрам: период окупаемости и величина экономического эффекта, демонстрируют явное преимущество первого варианта. Срок окупаемости по первому варианту 1 год, по второму – 1,1, по третьему – 1,4 и по четвертому – 1,8 года. А экономический эффект по первому варианту на 9,9% выше чем по второму, на 7,1% больше, чем по третьему и на 32,2% больше, чем по четвертому.

Установлено, что для эффективного ведения горных работ в диапазоне глубин 200-700 м целесообразно использовать геотехнологические решения, реализуемые в предложенных стратегиях развития ГТС: изменение параметров системы вскрытия в течение проектного периода эксплуатации карьера, переход на новый этап развития открытых горных работ или на открыто-подземный способ разработки, на использование сформированных техногенных георесурсов, не связанное с добычей руды.

Обосновано, что оценку системы вскрытия необходимо осуществлять на основе предлагаемого комплексного критерия эффективности, представленного ранговым коэффициентом, учитывающим: вид карьерного транспорта, глубину ведения горных работ, продолжительность этапа вскрытия, объемы вскрываемых выработок, затраты на формирование и эксплуатацию системы вскрытия, социальную и экологическую эффективность рассматриваемых вариантов, а также вес и целевые функции каждого учитываемого параметра. Использование предлагаемого критерия позволяет при близких экономических значениях параметров сравниваемых вариантов учитывать дополнительные факторы, которые могут оказывать определяющее влияние на проектное решение для данного этапа.

Разработаны технологические решения по увеличению интенсивности производства горных работ на отдельных участках карьера изменением конструкции рабочей зоны путем перехода на высокие уступы, позволяющие развивать ЦПТ транспортирования горной массы не только на текущем, но и на последующем этапах отработки. Предложенные решения позволяют сократить срок начала функционирования новых перегрузочных пунктов на 5-7 лет и, соответственно, в 1,5-1,8 раза ускорить запуск новых конвейерных линий по сравнению с вариантом равномерного развития рабочей зоны в карьере.

Предложны конструкции карьерных подъемников, объединяющих функции подъема горной массы и обслуживания перегрузочного пункта. Схемы вскрытия с использованием данных подъемников позволяют повысить эффективность переходного периода от открытого способа разработки к открыто-подземному за счет отработки части съездов выше перегрузочного пункта и увеличения глубины карьера до 30% в период перехода на открыто-подземный способ разработки, что позволит осуществлять добычу руды в период строительства подземного рудника. Применение разработанных конструкций подъемников также позволит в 2-3 раза сократить площадь сохраняемого в целиках пространства карьеров при использовании систем подземной разработки с обрушением вмещающих пород.

Достигнут экономический эффект от реализации геотехнологических решений по изменению системы вскрытия для предприятий уральского региона (Аккермановское, Круторожинское, Юбилейное месторождения) в размере 897,1 млн.руб. Экономический эффект подтвержден актами предприятия и оформлен в установленном порядке. Для условий разработки железорудного месторождения Малый Куйбас произведено ранжирование возможных стратегий развития ГТС и определены рациональные параметры системы вскрытия для варианта перехода на открыто-подземный способ разработки, имеющего наиболее высокий ранг. При этом экономическая эффективность от реализации данного решения составит более 1,7 млрд.руб.

### *Обогащение полезных ископаемых*

Закончен первый этап исследований физико-химических закономерностей процессов механоактивации и флотации графитсодержащих пылей металлургических предприятий Магнитогорского МК. В спелях выявлены три группы частиц, отличающихся по форме. Методом рентгеноспектрального микроанализа (РСМА) путем набора спектра в точке установлен элементный состав тонкодисперсных фаз железографитовой пыли: сферические частицы представлены оксидами железа, пластинчатые частицы - графитом и частицы неправильной угловатой формы, имеют в своем составе такие элементы как O, Si, Ca, Mg Al, Mn, Fe. Изучение химического состава графитовых пылей показало, что основными компонентами пыли являются оксиды железа, углерод, диоксид кремния, оксида кальция, алюминия. Содержание оксидов магния, марганца и диоксида титана – меньше 1%. Имеются примеси серы, фосфора, хрома и цинка. Проведено ранжирование проб различных участков металлургического производства по содержанию углерода и примесей. Проба железографитовой пыли, отобранной в доменном цехе, отличается самым низким содержанием углерода – 10,17%. Пробы кислородно-конвертерного и электросталеплавильного цехов – богатые, массовая доля углерода в них – более 30%. При этом железографитовая пыль доменного цеха отличается большим содержанием железа и на порядок большим содержанием таких примесей, как фосфор, сера и цинк. Отличительной особенностью железографитовой спели доменного цеха является низкое значение потери массы при прокаливании (пмп) – 10,4%, в отличие от спели кислородно-конвертерного и электросталеплавильного цехов, в которых значение пмп составило 31,0–30,3%. Установлено, что при использовании шарового измельчения ширина распределения частиц по размерам  $d_{10}/d_{90}$  практически не меняется, что говорит об одинаковом измельчении частиц во всех диапазонах размеров частиц не зависимо от времени воздействия. При использовании фарфоровых мельниц с увеличением времени измельчения ширина гранулометрического состава (диапазон крупности) увеличивается. Наиболее близкие значения характеристик крупности продуктов наблюдаются при измельчении в шаровой мельнице в течение 10 минут и в фарфоровой мельнице в течение 40 минут с небольшим отличием в размерах самых крупных частиц. Продукт измельчения спели в мельнице измельчительного комплекса КИ – самый мелкий, как по содержанию расчетного класса крупности, так и по характеристикам размеров частиц:  $d_{50}=22,87$  мкм,  $d_{max}=102,17$  мкм, а по ширине гранулометрического состава – самый узкий:  $d_{10}/d_{90}=0,135$ . Увеличение времени помола частиц графитовой спели в шаровой мельнице приводит к возрастанию показателя крупности частиц  $d(90)$ . При этом удельная поверхность измельченного графита также увеличивается. Это обусловлено агрегированием частиц, вызванной механоактивацией и увеличением их поверхностной активности. Можно выделить два способа образования агрегатов: налипание мелких чешуек на крупную (измельчение в фарфоровой мельнице); слипание тонких чешуек графита между собой (мелкий продукт классификации измельчительного комплекса КИ). Проведенные исследования показали, что на обогатимость графитовой спели флотационным методом существенное влияние оказывает используемое измельчительное оборудование. Увеличение продолжительности мокрого помола стальными шарами в барабанной мельнице не оказывает существенного влияния на результаты флотации железографитовой спели. При этом показатели флотации выше при использовании разбавленных пульп. Установлено, что использование для подготовки графитовой пыли к флотационному обогащению центробежной мельницы с воздушным динамическим классификатором не оказывает существенного влияния на сферичность поверхности частиц графита, но оказывает влияние на их поверхностные свойства, проявляющиеся в увеличении их флотационной активности. Отмечено, что после центробежно-ударного сухого измельчения флотация идет активнее, особенно в мелкой фракции, и уже в процессе первой агитации с реагентом.

Выход концентрата увеличился на 3%, при увеличении массовой доли углерода в концентратах флотации мелкого и крупного продукта на 22,7 и 17,5% соответственно и снижении доли магнитной фракции более, чем в 5 раз.

Закончен первый этап обоснования параметров сложноструктурного техногенного минерального сырья для селективной центробежно-ударной дезинтеграции. Для расширения представлений о влиянии генезиса шлака на его характеристики проведено детальное изучение вещественного состава объектов исследования, их текстурно-структурных особенностей комплексом минералого-аналитических методов: минералого-петрографическим, рентгенофазовым и электронно-микроскопическим с микронзондовым анализом. Выделены три технологические группы шлаков. Первая группа – легкообогатимые шлаки. Для них характерна полнокристаллическая однотонная структура с преобладанием ксеноморфных зерен, границы срастаний криволинейные, извилистые, иногда зазубренные, присутствуют обособленные фазы с четкими ровными границами. Единично присутствуют субидiomорфные зерна, с правильной формой срастания зерен. С позиции обогащения раскрытие таких микроагрегатов и последующее разделение будут осуществляться хорошо. Вторая группа – среднеобогатимые шлаки. Для них характерна полнокристаллическая равномерная структура, наличие эвтектических структур и присутствие ганита в виде каймы вокруг рудных выделений. Третья группа – труднообогатимые шлаки. Характеризуются наличием сложных скрытокристаллических структур, присутствие структур распада твердых растворов, структур замещения элементов в кристаллической структуре минералов в виде каемок на периферии рудных зерен. Такие труднообогатимые шлаки быстро охлажденные, нераскristализованные, лежалые. Достигнуть избирательного механического разделения в процессе обогащения будет достаточно сложно.

В качестве значимых характеристик, предопределяющих закономерности дезинтеграции шлаков в центробежно-ударных дробилках, определены три группы параметров: структурно-технологические, физико-механические и химические. Сформированы критерии оценки каждой группы параметров и оценены в условных единицах (баллах). Интегративный критерий оценки селективности дезинтеграции шлаков, представляющий собой комбинацию структурных, физико-механических и химических характеристик, в баллах может принимать значение от 0 до 15. Разработана система балльной оценки и определены интервалы значений, характеризующие степень селективности дезинтеграции: 0–5 баллов – неселективная дезинтеграция; 6–10 – дезинтеграция с низкой селективностью; 10–15 – селективная дезинтеграция. Проведена систематизация шлаков по интегративному критерию. Для шлаков ММК значение интегративного критерия  $K=12$  – дезинтеграция будет происходить селективно; для медных шлаков «Карабашмедь»  $K=9$  – дезинтеграция будет происходить с низкой степенью селективности; для клинкера цинкового производства при раскрытии по ценному компоненту «медь»  $K=7$  – низкоселективная дезинтеграция; при раскрытии по ценному компоненту «железу»  $K=10$  – селективная дезинтеграция.

Выполнены предпроектные исследования по обогащению бедного и окисленного железорудного сырья в условиях УОЖШ ПАО «ММК». Анализ результатов схемных опытов показывает, что при уменьшении крупности пробы, подаваемой на обогащение, значительно снижается выход объединенного концентрата (для пробы 1 – на 5,1%, для пробы 2 – на 5,23%) и извлечение в него железа (на 14,91 и 13,3 соответственно). Но с возрастанием потерь, увеличивается качество концентрата до 57,53 и 59,15%. Результаты показали, что для получения качественного концентрата необходимо переходить на шаровое измельчение с обесшламливанием слива мельницы по классу 20 мкм. Наиболее целесообразной по капитальным и эксплуатационным затратам на реализацию является схема, включающая измельчение исходного сырья до крупности 0,1 мм и обесшламливание слива мельницы.

Установлено, что с помощью рентгенофлуоресцентного анализатора CON-X 02 возможно численное определение Al, K, Ti, Fe в потоке. Легкие элементы (с атомным номером <18, такие как Al, Si, S, Cl) возможно более точно определить, используя геометрию, подразумевающую малое расстояние между образцом и детектором (менее 20-30 мм) и работу рентгеновской трубки (РТ) при малых напряжениях или используя фильтры на РТ. Кроме того, определение количественного содержания S возможно, если использовать РТ с родиевым анодом. Кремний определить возможно при высоком содержании (более 30% м.д.) в образце. В тоже время, определение средних и тяжелых элементов при низких напряжениях не представляется возможным в виду недостаточной энергии рентгеновских квантов для возбуждения

атомов. Однозначно получение калибровочной зависимости для численного определения элементов на всем диапазоне глубин возможно только для железа. Для остальных элементов необходимы однозначные маркеры для изменения коэффициентов калибровочных функций.

Установлены погрешности определения железа, кальция, кремния при работе прибора CON-X 02. Рекомендованы технологические параметры: высота установки анализатора, время набора спектров, угол расположения кремниевого детектора и излучателя. Разработан производственно-аналитический комплекс для определения химического состава движущейся на ленте конвейера железорудной смеси в режиме реального времени, подаваемой в бункеры аглофабрики. Точность определения содержания железа составила 0,3%, оксида кальция – 0,1% и основности – 0,07 ед. По результатам испытаний ПАК принят в промышленное использование.

**Изданы:**

**Журнал**

Недропользование и транспортные системы. Том 12 № 1 (2022) 54 с.

Недропользование и транспортные системы. Том 12 № 2 (2022) 74 с.

**2.23. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

В 2022 г. в университете продолжилась реализация программы развития вуза, прошедшая конкурсный отбор федеральной программы поддержки вузов «Приоритет-2030». Работы по стратегическим проектам программы развития университета выполнялись в интересах предприятий ОАО «УГМК», Всероссийского научно-исследовательского геологического института им. А.П. Карпинского (ВСЕГЕИ), ОАО «Ураласбест», АО «ЕВРАЗ НТМК», АО «ЕВРАЗ КГОК», ПАО «Уралмашзавод».

**1. Проект «Геологические исследования перспективных площадей»**

Работы по данному проекту выполнялись по заказу ФГБУ «ВСЕГЕИ», теме «Проведение региональных геолого-съёмочных работ масштаба 1:200000 на группу листов в пределах Уральского и Приволжского ФО».

**Целевое назначение работ**

Заключается в подготовке геологической информации для оценки изученности и подготовки геологического обоснования проведения ГДП-200 листа О-40-XXIX (Шалинская площадь), а также для предварительной оценки перспектив территории на железо, золото, платиноиды и другие полезные ископаемые.

Основные задачи: составление геологической карты дочетвертичных образований; карты четвертичных образований; карты полезных ископаемых и закономерностей их размещения; схемы зарамочного оформления.

**Основные научные и научно-технические результаты проекта**

Выполнено уточнение особенностей геологического строения территории, данных о возрасте, составе, формационной принадлежности, тектонической позиции, границах и площадях развития картографируемых подразделений, отображенные на картах и схемах комплекта и в тексте объяснительной записки; уточнены на обновленной геологической основе границы известных и вновь выявленных минерагенических таксонов, перспективных на обнаружение месторождений полезных ископаемых; Составлен паспорт перспективного объекта: Белокатайского (Восточного) золото рудно-россыпного узла, по нему уточнены прогнозные ресурсы категории РЗ для Au в 57 т., даны рекомендации на постановку поисковых работ.

В северо-восточной части листа О-40-XXIX, где впервые для данной территории обнаружен кристалл алмаза, проведены детальные исследования литологического состава пород, их контактов, положения и структурно-текстурных особенностей. По результатам полевых и научных исследований в 2022 году впервые установлен флюидогенно-эксплозивный Сылвенский комплекс. Последний прорывает нижнепермские терригенные образования капысовской свиты Р1кр в пределах восточного крыла Юрюзано-Сылвенской депрессии в зоне влияния Главного ЗападноУральского глубинного надвига и является по-видимому, первоисточником (транспортирующим агентом) алмазов. По своим петрографическим и петрохимическим параметрам породы комплекса относятся к умереннощелочным вулканическим породам – аналь-

цимовым шоссонитам, свойственных областям эпиплатформенных рифтов, проявившихся на Урале в раннем мезозое.

#### **Предполагаемое использование результатов**

Составление современной многоцелевой геологической основы для решения различных народнохозяйственных задач, оценка перспектив территорий на обнаружение промышленных месторождений урана, золота, меди, цинка и других полезных ископаемых.

### **2. Проект «Повышение эффективности дезинтеграции и обогащения полезных ископаемых»**

#### **Целевое назначение работ**

Разработка эффективной технологии переработки железосодержащих хвостов обогащения.

#### **Основные научные и научно-технические результаты проекта**

Создана технология, которая позволит получить железный концентрат из оставшихся после обогащения руды отходов с массовой долей железа до 72%. Это поможет возродить производство на железорудном комбинате в Крыму. Технология позволяет извлечь железо для повторного вовлечения в металлургическую обработку, а также получить дополнительную продукцию в виде клинкера для цементной промышленности и шлакового песка для дорожного строительства.

#### **Предполагаемое использование результатов**

Внедрение технологии в промышленном масштабе запланировано на 2023 г.

### **3. Проект «Мониторинг состояния и границ распространения криолитозоны»**

Инициирован проект, направленный на снижение рисков разработки месторождений полезных ископаемых в условиях мерзлых грунтов. Для решения задач проекта по проблемам геокриологии задействован участник Консорциума - Институт геологии и геофизики УрО РАН.

#### **Целевое назначение работ**

Снижение рисков разработки месторождений полезных ископаемых в условиях мерзлых грунтов.

#### **Основные научные и научно-технические результаты проекта**

Разработана структура геотехнического мониторинга и системы температурной стабилизации многолетнемерзлых пород на базе контурных термосифонов. Выявляются закономерности развития мерзлотных условий, ведется систематический контроль их динамики и криогенного воздействия на конструкции зданий, разрабатываются защитные мероприятия в кооперации с УрФУ.

Разработана программа профессиональной переподготовки по направлению «Инженерная геология и геокриология», а также программа повышения квалификации по направлению «Инженерно-геологические изыскания в районах распространения многолетнемерзлых пород».

Разработана программа магистратуры «Инженерная геология и геокриология», предусматривающая изучение ПО «Frost 3D» (является одним из лидеров в инженерных расчетах при проектировании на многолетнемерзлых грунтах).

Состоялась ресурсная подготовка к выполнению исследований: оснащена лаборатория мерзлотоведения термометрическим оборудованием, установками для проведения испытаний грунтов, а также ведения мониторинга в районах распространения многолетнемерзлых грунтов на общую сумму 20 млн. руб. Программное обеспечение Geotek Studio позволит проводить испытания на оборудовании комплексов АСИС по предустановленным алгоритмам.

#### **Предполагаемое использование результатов**

В июле 2022 г. проведены переговоры с представителями ПАО «Высочайший» по вопросу необходимости проведения мониторинга на объекте: «Промплощадка ЗИФ Тарынский ГОК». По результатам переговоров составлены ТЗ и КП на проведение геотехнического мониторинга вечной мерзлоты.

### **4. Проект «Исследование узлов трения горных машин и разработка металломатричных композиционных материалов триботехнического назначения»**

Работы по данному проекту выполнялись по заказу Министерства науки и высшего образования Российской Федерации. Объектами исследований являются функциональные металломатричные композиционные материалы и тяжело нагруженные триботехнические узлы горных машин на примере опоры бурового шарошечного долота.



### **Целевое назначение работ**

Цель работы - получение новых научных знаний в области основ формирования структуры дисперсно армированных *in situ* металломатричных композиционных материалов, разработка эффективных способов их получения; разработка математической модели работы узлов трения горных машин путем исследования напряженно-деформированного состояния, температурного режима и процессов изнашивания, что позволит разработать новые принципы и методы оценки надежности горных машин при проектировании, изготовлении и эксплуатации, сформировать требования к триботехническим материалам.

### **Основные научные и научно-технические результаты проекта**

В целом, в ходе выполнения НИР получены следующие научные результаты:

Разработана стохастическая модель напряжённо-деформированного состояния и контактной выносливости триботехнических узлов. Разработаны программа и методики фиксации динамики атомно-кристаллической структуры и химического состава фаз, а также топологической (пространственной) структуры в процессе синтеза дисперсно армированных *in situ* металломатричных модельных композитов на основе Al, Mg, Zn. Разработан способ получения дисперсно армированных *in situ* металломатричных композитов триботехнического назначения, обеспечивающий снижение энергозатрат и химическую чистоту синтезируемого композиционного материала. Получена оптическая визуализация процесса формирования гетерогенной структуры литого дисперсно армированного композита с использованием модельных жидких систем. Определены кинетические закономерности процесса формирования гетерогенной структуры дисперсно армированных металломатричных композитов. Разработаны научно-технические основы создания высокотехнологичных металломатричных композиционных материалов с прогнозируемой структурой и свойствами. Разработан стенд для ускоренных испытаний триботехнических узлов горных машин, на базе которого уточнена математическая модель работы узлов трения горных машин. Разработана методика проектирования и расчета узлов трения горных машин. Выполнена диагностика физико-механических свойств, разработанных металломатричных композитов на основе Al, Mg, Zn (7 составов), полученных методом реакционного литья (*in situ* процесс): Изучен механизм изнашивания разработанных композитов в зависимости от размерности армирующих частиц. Получена функциональная зависимость износостойкости композиционного материала.

### **Предполагаемое использование результатов**

Полученные результаты в области разработки металломатричных композиционных материалов триботехнического назначения расширяют существующие фундаментальные представления о взаимосвязи структуры и свойств металломатричных композиционных материалов, а также обеспечивают высокий уровень отечественной науки в приоритетной области материаловедения и снижают уровень импортозависимости.

Полученные результаты в области проектирования и расчета узлов трения горных машин рекомендуется к внедрению в проектно-конструкторских отделах заводов-изготовителей, осуществляющих, в частности, производство бурового опорного инструмента.

## **2.24. ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ «ИНСТИТУТ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ»**

Исследования в области горных наук в Институте природопользования НАН Беларуси охватывают вопросы углубленного изучения строения земной коры и литосферы, геодинамики, тектоники, региональной геологии, геоэкологии. В 2022 году значительное внимание было уделено разработке методов мониторинга температурного режима и определения теплофизических характеристик горных пород в условиях белорусской антарктической станции.

Природно-территориальные комплексы в зонах многолетнемерзлых пород являются весьма уязвимыми в отношении геоэкологической устойчивости. Это связано, прежде всего, с неустойчивостью температурного режима, зависящего от энергообмена в приземном слое атмосферы, снежном покрове и почвенно-грунтовой толще. При изменении соотношения между параметрами теплообмена происходят изменения температурного режима, которые, в свою очередь, вызывают необратимые изменения теплофизических характеристик ландшафтной

сферы, что в итоге запускает ряд неблагоприятных явлений, таких как термокарст, оползни, криогенное пучение, солифлюкция и т.п. Вопросы энергомассообмена в ландшафтной сфере в определенной степени проработаны для Арктических регионов РФ [2]. В тоже время аналогичные исследования для территории Антарктики проводятся в недостаточной степени, несмотря на тенденции глобальных изменений климатических условий и активизацию мероприятий по освоению данного региона.

В связи с изложенными проблемами в рамках подпрограммы «Развитие деятельности белорусской антарктической станции» государственной программы «Научно-инновационная деятельность Национальной академии наук Беларуси» на 2021-2025 годы выполняется задание «Провести мониторинг энергомассообмена в деятельном слое земной поверхности для оценки изменения температурного режима и развития негативных геокриологических процессов в районе расположения белорусской антарктической станции (Гора Вечерняя)», основной целью которого является проведение мониторинга и моделирование энергомассообмена в приземном слое воздуха, снежно-ледяном покрове и подстилающей поверхности для оценки изменения температурного режима и развития негативных геокриологических процессов в районе расположения белорусской антарктической станции (БАС) под воздействием естественных и антропогенных факторов.

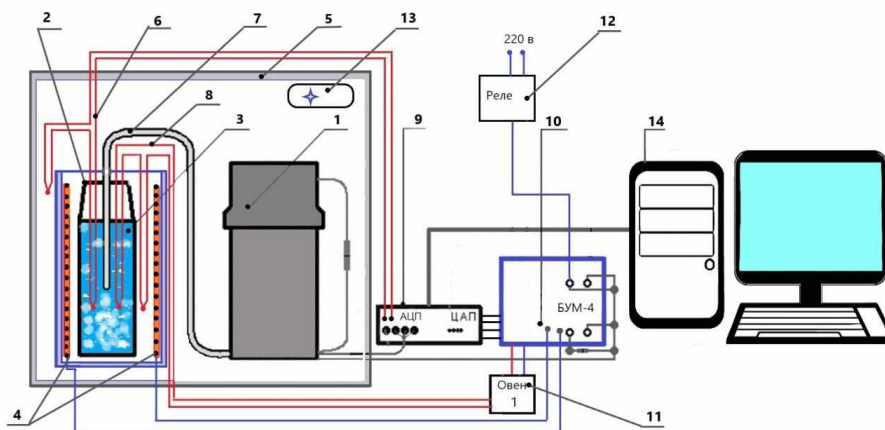
Для обеспечения реализации поставленной цели потребовалось решить следующие основные задачи:

- Адаптировать комплект приборов для исследования теплофизических характеристик и фазового состава воды в деятельном слое, а также радиационно-конвективного теплообмена между атмосферой и подстилающей поверхностью природно-территориального комплекса белорусской антарктической станции.

- Сформировать базу данных по теплофизическим характеристикам, параметрам энергомассообмена и особенностям развития выявленных геокриологических процессов в компонентах природно-территориального комплекса белорусской антарктической станции.

- Разработать на основе долгосрочного геокриологического прогноза рекомендации по минимизации последствий трансформации температурного режима, состояния ландшафтной сферы и развития негативных геокриологических процессов.

В ходе исследований разработан алгоритм автоматизации, создано программное и приборное обеспечение регулирования температурного режима калориметрической установки (рисунок 1), позволяющие адаптировать ее эксплуатацию до 2-х суток в автономном режиме с контролем через удаленный доступ.



**Рисунок 1 – Схема калориметрической установки:**

*1 – калориметрическая камера, 2 – ноль-термостат, 3 – сосуд Дьюара со смесью воды и льда, 4 – нагреватель ноль-термостата, 5 – холодильная камера, 6 – термопара холодильной камеры, 7 – нулевые спай батареи термопар корпуса калориметрической камеры, 8 – термопара ноль-термостата, 9 – 4-х канальный порт с АЦП и ЦАП, 10 – 4-х канальный усилитель мощности БУМ-4, 11 – измеритель регулятор температуры Овен-1, 12 – реле включения компрессора холодильной камеры, 13 – компрессор холодильной камеры с вентилятором, 14 – персональный компьютер*

Разработан алгоритм автоматизации регулирования температурного режима установки для определения коэффициентов теплопроводности горных пород. Усовершенствовано программное обеспечение для эксплуатации оборудования в условиях белорусской антарктической станции в автономном режиме с контролем через удаленный доступ.

Адаптирована система температурного мониторинга мерзлых, промерзающих и протаивающих грунтов разработки АО «НПП «Эталон» (г. Омск РФ) для автоматической круглогодичной регистрации температуры и тепловых потоков в компонентах природно-территориального комплекса белорусской антарктической станции. Разработаны предварительные варианты использования системы температурного мониторинга мерзлых, промерзающих и протаивающих грунтов разработки АО «НПП «Эталон» [3] в экстремальных температурных условиях Антарктиды. В комплект входят: датчики температуры многоканальные цифровые МЦДТ 0922 (термометрическая коса на 11 каналов), контроллер цифровых датчиков стационарный СКЦД 6-200, устройство распределительное USB/RS-485 для СКЦД, логгеры цифровых датчиков ЛЦД-1/100-СД. Использование логгеров позволяет в автономном режиме в течение года и более вести непрерывно регистрацию температуры с последующей передачей полученной информации на удаленный интерфейс для ее обработки. Это очень важно в условиях отсутствия круглогодичных экспедиционных исследований на территории белорусской антарктической станции.

Для мониторинга температурного режима мерзлых, промерзающих и протаивающих грунтов с автоматической регистрацией температуры и тепловых потоков в компонентах природно-территориального комплекса белорусской антарктической станции при наличии соответствующего приборного обеспечения предполагается оборудовать две опытных площадки – одну на пологом склоне и одну горизонтальную площадку. На этих площадках планируется расположить по 5 термокос; первую – на поверхности ледопородного покрытия, вторую на глубине 0,15 – 0,20 м от поверхности, третью на глубине 0,30 – 0,40 м, четвертую на высоте 0,20 м от поверхности и пятую на высоте 2 м от поверхности (рисунок 2).

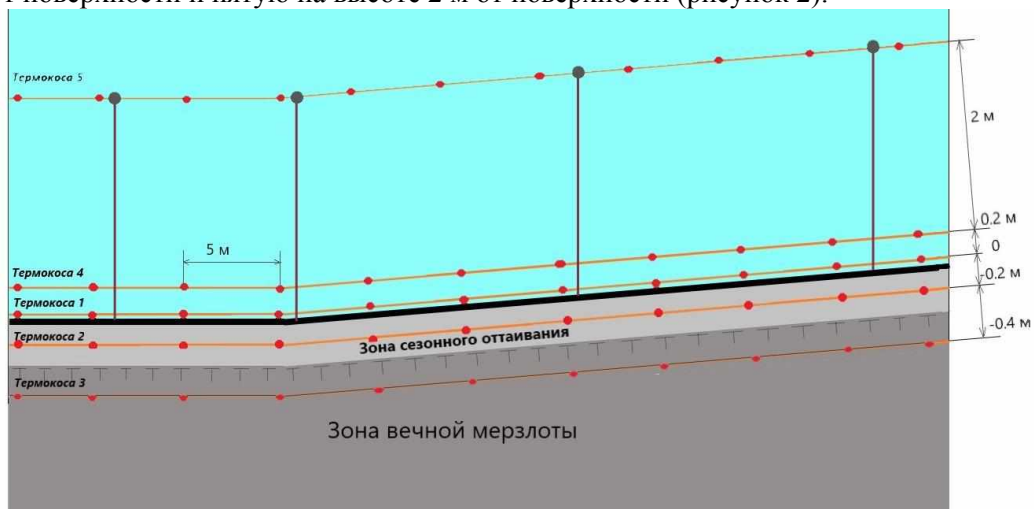


Рисунок 2 – Схема расположения датчиков термокос на наклонной площадке

Такое расположение термокос позволит провести мониторинг распределения температуры в поверхностном слое ледопородного покрытия и приземном слое воздуха, что в сочетании с исследованиями теплофизических характеристик пород поверхностного слоя дает возможность путем решения обратных задач теплопроводности определить условия радиационно-конвективного баланса на поверхности ледопородного покрытия на горизонтальной поверхности и на склонах.

Участниками 14-ой БАЭ в процессе рекогносцировочных мероприятий, в 500 м южнее подножия сопки Рубин, на открытом участке моренных отложений выбрана площадка для создания опытного полигона с целью проведения комплексного исследования температурно-влажностного режима слоя сезонного оттаивания. Определены границы предполагаемого полигона с ориентировочными размерами 100 на 100 метров (рисунок 3).



**Рисунок 3 – Площадка для создания  
опытного полигона**

В результате обмена между участниками белорусской антарктической экспедиции (особая благодарность начальнику БАС Алексею Хаткевичу) и сотрудниками Института природопользования фактической методической информацией по геокриологическим процессам на территории белорусской антарктической станции выявлен ряд неблагоприятных геокриологических процессов и явлений [1].

К таким процессам можно отнести криогенное выветривание пород, вызывающее температурные деформации пород, расклинивающее действие тонких пленок воды в породах, диспергацию и коагуляцию минеральных частиц в дисперсных породах, вызванные многократными циклами сезонного промерзания / оттаивания пород и изменения напряженного состояния пород под влиянием сезонных колебаний температуры. На фронте ледника зафиксирован процесс курумообразования с характерным скоплением грубообломочного материала по склону крутизной меньше угла естественного откоса обломков. Курумы представляют собой скопление валунного материала в виде каменных плащей и потоков, медленно перемещающихся по склону. Признаками, указывающими на движение курума, являются валообразный характер его фронтальной части и натечный характер курумного тела в целом (рисунок 4).

Солифлюкционные процессы развиваются на некрутых склонах крутизной до  $15^\circ$  и приурочены к распространению переувлажненных осадочных горных пород (суглинков, супесей, пылеватых песков). На таких склонах возможно площадное смещение талого слоя пород по мерзлой подложке со скоростью 2-10 см в год (рисунок 5).

Хозяйственная деятельность на территории БАС также может способствовать проявлению локальных негативных криогенных изменений окружающего ландшафта (рисунок 6).



**Рисунок 4 – Курум на границе ледника**



**Рисунок 5 – Курум на солифлюкционном склоне**



**Рисунок 6 – Рельеф с признаками криогенного пучения в результате  
техногенного воздействия**



С учетом полученных результатов в дальнейшем необходимо продолжить более детальное изучение геокриологических процессов и явлений на ландшафтно-территориальном комплексе БАС с целью прогноза и минимизации последствий негативных экологических последствий под воздействием природных и антропогенных факторов. При этом прогноз геокриологических процессов следует, в первую очередь, проводить с учетом влияния фазовых переходов воды в лед, миграции влаги и преобразования структуры в ледо-породном покрытии. В основе такого прогноза должен быть расчет динамики температурных полей в элементах ландшафтно-территориального комплекса БАС, основанный на базе данных по теплофизическим характеристикам и фазовому составу воды в горных породах при различных температурах, полученных с помощью представленных приборов, а также с учетом фактических метеорологических условий.

#### **Список литературы**

1. Основы мерзлотного прогноза при инженерно-геологических исследованиях. // Под ред. *Л.С. Гарагули, А.В. Брушкова*. М.: Изд-во «Геоинфо». – 2016. – 512 с.
2. *Павлов А.В., Малкова Г.В.* Мелкомасштабное картографирование трендов современных изменений температуры грунтов на севере России. // Криосфера Земли, 2009 - т. XIII - № 4. – С. 32-39.
3. *Пузач В.Н., Кропачев Д.Ю., Дергачев С.В., Михальченко Д.И.* Опыт эксплуатации и перспективы развития систем мониторинга температуры вечномёрзлых грунтов АО НПП «Эталон», <https://omsketalon.ru/public>, г. Омск, Россия.

### **2.25. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»**

В 2022 году в ФГБОУ ВО «СКГМИ (ГТУ)» в рамках деятельности Центра разработки программ устойчивого развития горных территорий и АНО «Международный научно-технологический центра «Устойчивое развитие горных территорий. Горы» проведены работы по реализации научно-исследовательских и научно-практических программ и проектов.

Сотрудники центров приняли участие в подготовке, организации и проведении научных форумов, проходивших на базе СКГМИ (ГТУ):

- X Международная научно-практическая конференция по устойчивому развитию горных территорий.

- Всероссийская Научно-практическая конференция с международным участием «Результаты 20 лет изучения катастрофы мирового масштаба в Геналдонском ущелье («сход ледника Колка»)), 20–21 сентября 2022 г.

Кроме того, в 2022 году сотрудники приняли участие в иногородних и международных научных форумах:

- Семинар «Основные проблемы развития горного туризма в республике Северная Осетия-Алания: соединение науки и практики». 3 июля 2022 г. в гостевом доме ООО «Камата-Хостел», сел. Камата Ирафского района Республики Северная Осетия-Алания проведены совместное выездное заседание СКНС и семинар «Основные проблемы развития горного туризма в республике Северная Осетия-Алания: соединение науки и практики» в формате круглого стола, на котором были рассмотрены вопросы правового обеспечения охраны и развития горных территорий, а также связи науки и высшего образования с туризмом.

- Научно-практический форум «II Тебердинская конференция» проходил 5-6 июля 2022 г. в информационном Визит-центре Тебердинского национального парка, г. Теберда, второе заседание - в ФГБОУ ВО «Карачаево-Черкесский государственный университет им. У.Д. Алиева», г. Карачаевск, с участием ректора КЧГУ Таусолтана Узденова и ученых университета.

- Международная научно-практическая конференция Тагаурский Форум «Образование, экономика, экология, энергетика горных территорий» в с. Кобан Пригородного района, РСО-Алания, 8 октября 2022 г.

- Международная научно-практическая конференция «Климатические изменения и «зеленые» технологии в ландшафтной среде», ФГБОУ ВО «Чеченский государственный университет им. А.А. Кадырова», г. Грозный, 28–29 октября 2022 г.



- Международный форум «Природопользование и сохранение всемирного природного наследия», посвящённый 50-летию Конвенции об охране всемирного культурного и природного наследия, г. Санкт-Петербург, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет», МФК «Горный», 1-4 декабря 2022 года. На заседании секции № 5 «Сохранение и перспективы развития объектов горнопромышленного наследия» директор Центра «Горы» Ю.И. Караев сделал доклад по теме «Охрана и использование объектов горно-геологического наследия», на заседании секции № 6 «Геологические аспекты в проблеме сохранения объектов культурного и природного наследия» - доклад по теме «Георазнообразие - основа сохранения биоразнообразия и объектов культуры».

- Международная научно-практическая конференция «Устойчивое развитие горных территорий: антропогенная деятельность в природопользовании», ФГБОУ ВО «Чеченский государственный университет им. А.А. Кадырова», г. Грозный, 9-10 декабря 2022 г.

На базе Центра «Горы» Северо-Кавказского горно-металлургического института (государственного технологического университета) успешно функционирует штаб-квартира Северо-Кавказского Научного Сотрудничества (СКНС, Председатель Секретариата - директор ЦРП УРГТ СКГМИ (ГТУ) **Ю.И. Караев**), созданного с целью активизация научного сотрудничества, сбора и формирования информации в области устойчивого развития горных регионов Северного Кавказа.

На билингвальном сайте СКНС (<https://ncscnew.jimdo.com/>, администрацию сайта СКНС возглавляет доцент кафедры экологии и техносферной безопасности СКГМИ (ГТУ) **Гриднев Е.А.**) в настоящее время размещены сотни библиографических ссылок на публикации участников СКНС и более 150 полезных ссылок на различные информационные ресурсы, в том числе около 100 ссылок на электронные журналы, согласно сведениям Государственной публичной научно-технической библиотеки России (ГПНТБ). По состоянию на 2022 год на сайте зарегистрирован 71 участник СКНС, представляющих 15 субъектов Российской Федерации и представители 3 зарубежных стран.

С 2020 года сделан важный шаг в укрепление взаимодействия ученых, занимающихся проблемами горных территорий путём организации и проведения постоянно действующего дистанционного (онлайн) семинара по актуальным вопросам и проблемам развития горных территорий (Горный семинар СКНС).

В 2022 году прошло шестое заседание Горного Семинара. На странице сайта «горный семинар СКНС» размещены видеозаписи всех сделанных докладов и презентаций, в т.ч. доклад Васькова И.М. и Караева Ю.И. «Опасные природные процессы и инженерная защита».

В СКГМИ(ГТУ) в 2022 году выполнялись работы по следующим проектам и программам научных исследований:

- Проект по организации на территории горной зоны Республики Северная Осетия-Алания Глобального геопарка ЮНЕСКО «Горная Осетия».

- Организация Карбонового полигона на территории Республики Северная Осетия-Алания.

В отчётном периоде были продолжены консультации и исследования по переходящим проектам и программам:

- Актуальные проблемы и тенденции развития горных и предгорных территорий на муниципальном уровне.

- Пропаганда и апробация методов и методик природопользования национальных парков в горных регионах.

- Разработка индикаторов устойчивого развития горных муниципальных образований.

- Основные проблемы горных территорий с предприятиями-недропользователями.

В 2022 году сотрудники вуза принимали участие в полевые исследования в рамках VIII-ой летней Северо-Кавказской комплексной экспедиции.

В организации и проведении мероприятий экспедиции приняли участие руководители и сотрудники следующих учреждений: Межпарламентская Ассамблея государств-участников СНГ, г. Санкт-Петербург; Институт географии Российской академии наук, г. Москва; Международный институт мониторинга развития демократии, парламентаризма и соблюдения избирательных прав граждан государств-участников СНГ, г. Санкт-Петербург; Академия наук Чеченской Республики, г. Грозный; Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва; Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь; Южный

федеральный университет, г. Ростов-на-Дону; Дагестанский государственный педагогический университет, Махачкала; Кабардино-Балкарский государственный университет имени Х.М. Бербекова, г. Нальчик; Карачаево-Черкесский государственный университет имени У.Д. Алиева, г. Карачаевск; Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), г. Владикавказ; Тюменский государственный университет, г. Тюмень; Чеченский государственный университет имени А.А. Кадырова, г. Грозный; Дагестанский государственный университет народного хозяйства, Махачкала; НИИ Управления, экономики, политики и социологии ДГУНХ, г. Махачкала; Институт природных ресурсов АН ЧР, г. Грозный; Международный инновационный научно-технологический центр «Устойчивое развитие горных территорий» СКГМИ (ГТУ), г. Владикавказ; Северо-Осетинский государственный природный заповедник, г. Алагир Республики Северная Осетия-Алания; Национальный парк «Алания», сел. Чикола Республики Северная Осетия-Алания; Тебердинский национальный парк, г. Теберда; Общество с ограниченной ответственностью «Камата-Хостел», сел. Камата Республики Северная Осетия-Алания.

Количество участников на разных этапах экспедиции менялось от 10 до 40 человек.

Основными задачами, которые решались в рамках СККЭ были: а) обсуждение сетевых взаимодействий и научное обеспечение обмена информацией между горными регионами России; б) усиление кооперации науки и практики для формирования междисциплинарного подхода к решению комплексных проблем развития горных территорий; в) возможности организации стационаров для мониторинга ускоряющихся природных процессов в горах, связанных с глобальными изменениями климата и трансформацией природопользования.

#### ***Первый этап работы VIII-ой СККЭ, Чеченская Республика***

Основная цель - оценка экологической ёмкости ландшафтов Северного Кавказа.

Исследования I этапа экспедиции были проведены с 28.06.2022 г по 30.06.2022 г. с посещением Цоё-Педе (1210 м н.у.м.), Васеркел (1340 м н.у.м.), Ведучи и северного склона хребта Данедук (более 2000 м н.у.м.) в Аргунском ущелье. 30 июля 2022 г. участники экспедиции посетили район Терских песков в Затеречной зоне ЧР.

#### ***Второй этап работы VIII-ой СККЭ, Республика Северная Осетия-Алания***

Основная цель - знакомство с природными и рукотворными особенностями территории восточной части Дигорского ущелья, проведение семинара по вопросам взаимосвязи науки, образования и туризма, а также правового обеспечения развития и охраны горных территорий РФ.

Второй этап экспедиции проходил 1-3 июля на территории Национального парка «Алания» в селе Камата (Дигорское ущелье), которое расположено на западе Республики Северная Осетия-Алания (РСО-Алания) в Ирафском районе.

Участники экспедиции проводили полевые маршруты и исследования, посетили культурные и природные достопримечательности восточной части ущелья: природные и культурные ландшафты; геолого-географические, ботанические и др. памятники природы; памятники культуры: боевые и сторожевые башни, жилые здания, катакомбные захоронения; останки и действующие объекты жилых зданий и производственных сооружений, возведённых в конце XIX - начале XX века российскими и бельгийскими горнопромышленниками - Фаснальской обогатительной фабрики, местной гидроэлектростанции, больницы, сельских школ и т.д.

#### ***Третий этап работы VIII-ой СККЭ, Карачаево-Черкесская Республика***

Третий этап СККЭ проходил в нескольких районах Карачаево-Черкесской Республики с 4 по 9 июля 2022 г.

4 июля 2022 г. члены СКНС и приглашённые из числа учёных и специалистов КЧР приняли участие в рабочем заседании СКНС и СККЭ, на котором Председатель секретариата СКНС Ю.И. Караев и научный руководитель СКНС А.Н. Гуня, а также организатор третьего этапа экспедиции профессор СКФУ А.В. Лысенко объявили о задачах VIII-ой СККЭ и рассказали об уточнённом плане его дальнейшей работы. Затем Караев Ю.И. и Гуня А.Н. выступили с докладом «Наука, практика, развитие сотрудничества».

5 июля 2022 г. был проведен первый раунд научно-практического форума - II Тебердинская конференция - в информационном Визит-центре Тебердинского национального парка. Завершился форум 6 июля в ФГБОУ ВО «Карачаево-Черкесский государственный университет им. У.Д. Алиева» с участием ректора КЧГУ Таусолтана Узденова и ученых университета.

В связи с возможностью выезда в горные районы Республики Северная Осетия-Алания и началом работ по теме «Научное обоснование организации и функционирования на территории Республики Северная Осетия-Алания Глобального геопарка ЮНЕСКО «Горная Осетия» директор Центра «Горы» с коллегами и студентами университета провели предварительные рекогносцировочные исследования на территории РСО-Алания. Результаты этих исследований изложены в статьях научных журналов и докладах конференций (см. в разделе «VI. Научные публикации»).

По итогам исследований, проведённых в рамках Северо-Кавказской комплексной экспедиции на территории СКФО в 2021-2022 гг. планируется издание сборник трудов СККЭ, выпуск 3. В подготовке этого издания принимает участие директор Центра «Горы» СКГМИ (ГТУ) Караев Ю.И.

Ниже приведён перечень публикаций, которые выполнены на основе материалов проводимых исследований директором Центра «Горы» как самостоятельно, так и совместно с коллегами из других подразделений университета и учреждений-партнёров:

1. *Арун А. Даукаев, Ю.И. Караев, Аслан А. Даукаев, Ж.Г. Кусова, Л.С. Гацаева* Уникальные природные и историко-культурные объекты Галанчожского района Чеченской Республики в связи с проблемой создания геопарков. // География в школе. – 2022. - № 3. - С. 15-22.

2. *Караев Ю.И., Васьков И.М., Маковозова З.Э.* О геопарках, объектах географо-геологического наследия и решении отдельных проблем, связанных с ними // Климатические изменения и «зеленые» технологии в ландшафтной среде: Сборник материалов Международной научно-практической конференции (Грозный, 28–29 октября 2022 г.). – Грозный: Издательство ФГБОУ ВО «Чеченский государственный университет им. А.А. Кадырова», 2022. - С. 61-64.

3. *Караев Ю.И., Васьков И.М., Кусова Ж.Г.* Об использовании земель и территорий после завершения на них добычи полезных ископаемых. // Климатические изменения и «зеленые» технологии в ландшафтной среде: Сборник материалов Международной научно-практической конференции (Грозный, 28–29 октября 2022 г.). – Грозный: Издательство ФГБОУ ВО «Чеченский государственный университет им. А.А. Кадырова», 2022. – С. 65-72.

4. *Караев Ю.И., Васьков И.М., Кусова Ж.Г., Маковозова З.Э.* О некоторых вопросах истории, состояния и опыте развития геотуризма за рубежом. // Устойчивое развитие горных территорий: антропогенная деятельность в природопользовании: Сборник материалов Международной научно-практической конференции (Грозный, 9-10 декабря 2022) – Грозный: Издательство ФГБОУ ВО «Чеченский государственный университет им. А.А. Кадырова», 2022. - С. 117-123.

5. *Караев Ю.И., Васьков И.М., Кусова Ж.Г.* О горных территориях, туризме и геотуризме. Основные проблемы развития геотуризма. // Устойчивое развитие горных территорий: антропогенная деятельность в природопользовании: Сборник материалов Международной научно-практической конференции (Грозный, 9-10 декабря 2022) – Грозный: Издательство ФГБОУ ВО «Чеченский государственный университет им. А.А. Кадырова», 2022. - С. 124-130.

6. *Васьков И.М., Караев Ю.И., Маковозова З.С., Хубулов А.И.* 20 лет событию в долине р. Геналдон – геологической катастрофе мирового масштаба (Центральный Кавказ, Северная Осетия) // Сборник статей Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (Владикавказ, 20–21 сентября 2022 г.) «Результаты 20 лет изучения катастрофы мирового масштаба в Геналдонском ущелье (сход ледника Колка)» [Электронный ресурс]. Владикавказ: Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), 2022. - С. 8-39.

7. *Маковозова З.Э., Васьков И.М., Караев Ю.И., Хубулов А.И.* Представления о современных методах и методологии мониторинга и прогнозирования природных катастроф // Сборник статей Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (Владикавказ, 20–21 сентября 2022 г.) «Результаты 20 лет изучения катастрофы мирового масштаба в Геналдонском ущелье (сход ледника Колка)» [Электронный ресурс]. Владикавказ: Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), 2022. - С. 77-90.

8. *Караев Ю.И., Васьков И.М., Маковозова З.Э., Хубулов А.И.* О геологической отрасли, геологических исследованиях и геопарках, организованных по типу глобальных геопарков ЮНЕСКО // Сборник статей Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (Владикавказ, 20–21 сентября 2022 г.) «Результаты 20 лет изучения катастрофы мирового масштаба в Геналдонском ущелье (сход ледника Колка)» [Электронный

ресурс]. Владикавказ: Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), 2022. - С. 91-108

9. *Караев Ю. И., Васьков И.М., Маковозова З.Э.* Геология, геопарки и устойчивое развитие горных территории // Научные труды ВЭО России. Сборник трудов III Международной научно-практической конференции Тагаурский Форум «Образование, экономика, экология, энергетика горных территорий». Владикавказ: СОРО Вольное экономическое общество. Владикавказский институт управления, 2022. - С. 142-152.

## **2.26. ФИЛИАЛ РГП «НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР ПО КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКЕ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН» «ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА ИМ. Д. А. КУНАЕВА»**

### **Сведения о выполнении НИР по бюджетным программам**

В 2022 году в Институте горного дела им. Д.А. Кунаева (далее – Институт) выполнялись фундаментальные и прикладные исследования по следующим программам и проектам *Министерства образования и науки РК (на тендерной основе)* по программе 217 «Развитие науки»:

➤ подпрограмма 102 «Грантовое финансирование научных исследований молодых ученых на 2020-2022 годы»:

по приоритету: Рациональное использование природных, в том числе водных ресурсов, геология, переработка, новые материалы и технологии, безопасные изделия и конструкции

по подприоритету: Геология и разработка месторождений полезных ископаемых.

1. «Управление горным массивом для обеспечения безопасной отработки месторождения на основе комплексной геомеханической модели». Этап 2022 г.: «Этапы построения геомеханической модели» (Руководитель: PhD *Сьедина С.А.*).

#### **Основные результаты:**

За 2022 год была разработана и заполнена комплексная геомеханическая модель месторождения, содержащая в себе информацию о геологическом строении, гидрогеологических условиях месторождения, физико-механических свойствах руды и вмещающих пород, классификации качества массива и т.д.

Рассмотрены этапы построения геомеханической модели, которые включают импорт и подготовку исходных данных в среду ГИС, их визуализацию; моделирование данных литологии и структурных трендов для выделения их в домены и интерполяция в них данных рейтинговых показателей качества массива и геотехнических характеристик.

Разработана инструкция по актуализации и работе с моделями при эксплуатации месторождений. Инструкция устанавливает общие требования и правила по ведению, актуализации и применению геомеханической модели.

➤ подпрограмма 102 «Грантовое финансирование по научным и (или) научно-техническим проектам на 2022-2024 годы»:

по приоритету: Геология, добыча и переработка минерального и углеводородного сырья, новые материалы, технологии, безопасные изделия и конструкции.

1. «Технология получения препарата-адаптогена на основе гуматов из угля и экстрактов дикорастущих растений для создания устойчивого растительного покрова на техногенных объектах». Этап 2022 г.: «Анализ месторождений бурых углей Казахстана с высокими значениями гуминовых кислот, а также современных технологий получения из угля гуминовых кислот. Полевые работы по отбору проб угля, отходов обогащения, растительности и их лабораторные исследования» (Руководитель: д.т.н., проф. *Жалгасулы Н.*).

#### **Основные результаты:**

Проведён анализ ряда месторождений бурых углей Казахстана с позиции наличия гуминовых кислот: Майкюбенское, Алакольское, Ой-Карагайское, Юбилейное, Орловское, Эгинсайское, Мхатовское и Кияктинское. Проанализированы современные технологии по извлечению гуминовых кислот. Из всего многообразия месторождений бурых углей Казахстана выбрано Кияктинское бурогольное месторождение, где гуминовые кислоты в угле составляют более 69% и в наибольшей степени, соответствующей требованиям разрабатываемой в данном проекте технологии.

Отобраны 3 пробы весом по 2 кг из отвала некондиционного бурого угля Кияктинского месторождения методом «конверта» и по известным методикам 5 проб весом по 2 кг хвостов обогащения Жездинской обогатительной фабрики и различных видов многолетних дикорастущих растений. Кроме того, отобраны образцы почвы в районе Жездинского хвостохранилища в соответствии с ГОСТ 17.4.03-01-83 и ГОСТ 17.4.4.02.-84.

#### **Практическая деятельность**

На основе 9 хозяйственных работ Институт в 2022 году выполнял работы на сумму 188 119 тыс. тенге для 7 горнодобывающих предприятий Казахстана:

##### ТОО «Парк Иновационных Технологий», АО «AltynEx Company»

Завершён первый этап договора. Разработан проект размещения базовых станций системы на руднике и в соответствии с договором изготовлены радиодальномерные модули.

##### ТОО «НИИЦ ERG»

По результатам проведенных исследований разработан регламент по устойчивости бортов и уступов объединенного Сарбайского и Южно-Сарбайского карьера с учетом их углубки соответственно до абсолютной отметки (-660) м и (-400) м.

##### ТОО «Nova-Цинк»

Разработан «Технологический регламент к разработке проекта по увеличению объемов добычи восточного участка месторождения «Акжал» с применением наилучших доступных технологий в горной промышленности».

##### ТОО «Восход-Oriel»

Проведена плановая проверка и диагностика работы системы позиционирования и поиска людей и транспорта на месторождении Oriel-RTLS Mine, а также актуализирована аксонометрия на автоматизированные рабочие места диспетчера.

Проведено обучение 11 сотрудников ТОО «Восход-Oriel». Выданы сертификаты.

##### АО «AltynEx Company»

Проведен анализ горно-геологических, горнотехнических, географических и климатических условий месторождения «Юбилейное» и ранее проведенных исследований. Рассмотрены виды организации хвостохранилищ, их преимущества. Проведена технико-экономическая оценка выбранных вариантов складирования хвостов. Даны предварительные рекомендации.

##### ТОО «ORKENDEU MINE»

Разработан и передан заказчику Проект плана горных работ и план ликвидации месторождения Сатимола.

#### **Издательская деятельность**

В 2022 году опубликовано 15 статей, в том числе:

- 8 научных статей, из них:
- с ненулевым импакт-фактором JCR of CA, Scopus – 3;
- с ненулевым импакт-фактором РИНЦ, др. межд. базы – 2;
- в изданиях, рекомендованных ККСОН – 1;
- в научных изданиях – 2.
- 7 научных докладов международного уровня.

#### **Образовательная деятельность**

В 2022 году работа по подготовке кадров осуществлялась в рамках реализации ранее подписанных договоров Филиала РГП «НЦ КПМС РК» «Институт горного дела им. Д.А. Кунаева» с другими организациями:

1. Договор о сотрудничестве и научном обмене с АО «Алматинский университет энергетики и связи».
2. Договор о сотрудничестве в сфере высшего образования и науки с Карагандинским государственным техническим университетом.
3. Договор на проведение научно-исследовательской практики магистрантов специальности «6М090300 – Землеустройство» Казахского Национального Университета имени аль-Фараби.
4. Договор на проведение производственной и преддипломной практики студентов, магистрантов и докторантов Казахского национального технического университета имени К.И. Сатпаева.



5. Генеральный договор о сотрудничестве в сфере высшего образования и науки с РГП «Казахским национальным университетом имени аль-Фараби».

6. Договор на проведение исследовательской практики магистрантов «Казахского национального университета имени аль-Фараби» с РГП «Казахским национальным университетом имени аль-Фараби».

7. Договор по организации и проведению профессиональной (производственной/преддипломной/исследовательской) практики АО «Новый экономический университет им. Т. Рыскулова».

8. Договор о совместной работе по развитию научных исследований, внедрению результатов научно-исследовательских работ, экспертизе научных проектов и программ, подготовке научных кадров Республиканского общественного объединения «Национальная академия наук Республики Казахстан».

Один сотрудник Института являлся членом Диссертационного совета КазННТУ имени К.И. Сатпаева по специальностям 6D070700 - «Горное дело», 6D071100 - «Геодезия».

В PhD-докторантуре обучались 3 сотрудника по специальностям «Вычислительная техника и программное обеспечение» и «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений».

В 2022 г. защитили диссертации PhD:

*Алишева Ж.Н.*, Satbayev University по специальности «Нефтегазовое дело». Тема диссертации: «Усовершенствование технологии повышения нефтеотдачи методами импульсного воздействия».

*Алтаева А.А.*, Satbayev University по специальности «Геодезия». Тема диссертации: «Совершенствование методики геодезических наблюдений земной поверхности Орловского рудника с применением ГИС-технологий».

*Бектур Б.К.*, Satbayev University по специальности «Горное дело». Тема диссертации: «Разработка и обоснование конструкции крепи вертикального ствола, сооружаемого в сложных горно-геологических условиях (на примере шахты ДНК)».

## **2.27. КАРАГАНДИНСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АБЫЛКАСА САГИНОВА**

**«Переработка инструкции по расчету и применению анкерной крепи на шахтах  
УД АО «АрселорМиттал Темиртау»**

**Научный руководитель: проф., д.т.н. Демин В.Ф.**

Основание для выполнения: договор на оказание услуг по договору  
№ 17.20.05 от 11.09.2017 г. с АО «АрселорМиттал Темиртау»

**ИНСТРУКЦИЯ ПО РАСЧЕТУ И ПРИМЕНЕНИЮ АНКЕРНОЙ КРЕПИ НА ШАХТАХ  
УД АО «АРСЕЛОРМИТТАЛ ТЕМИРТАУ»**

Более половины подземных горных выработок на шахтах Карагандинского угольного бассейна находятся в неустойчивом состоянии (смещения пород кровли, почвы и боков) и поддерживаются со значительной трудоемкостью работ и материальными затратами ввиду отсутствия обоснования по соответствию параметров их крепления условиям эксплуатации в заданных производственных условиях. Внедрение прогрессивных технологических систем, способов и средств крепления выработок сдерживается малым объемом применения технологии управления геомеханическими процессами, происходящими вокруг них в приконтурном массиве. Для принятия обоснованных технологических решений по определению параметров крепи для ее эффективной эксплуатации необходима оценка деформированного состояния пород вмещающего горного массива вокруг выработок. Разработка и внедрении технологии и средств с учетом напряженно-деформированного состояния вмещающих пород позволит уменьшить материальные и трудовые затраты и оптимизировать параметры крепления горных выработок.

На шахтах Карагандинского бассейна в связи с этим кратность перекрепления поддерживаемых выработок достигает двух-трех кратного значения в течение срока эксплуатации и более четверти их ежегодно подвергается ремонту и комплексу работ по повышению их

устойчивости. Вмещающие породы непосредственной кровли угольных пластов часто неустойчивы, а породы непосредственной почвы – подвержены пучению.

Необходима технология проведения, крепления и поддержания горных выработок с учетом результатов моделирования геомеханического состояния угле-породного массива и схем закрепления на контурах горных выработок для различных горно-геологических и горнотехнических условий разработки угольных шахт для сокращения стоимости и затрат на проведения и крепление горных выработок с обеспечением увеличения скорости их проведения для своевременной подготовки фронта очистных работ.

Разработанная инструкция предназначена для использования при проектировании и производстве работ по возведению анкерной крепи на шахтах УД АО «АрселорМиттал Темиртау» в течение всего срока службы выработок в различных горно-геологических и горнотехнических условиях, включая зоны интенсивного повышенного горного давления, в выработках, пройденных по углю, в слабых трещиноватых породах, на ударо- и выбросоопасных пластах, на под- и надработанных участках шахтных полей.

*Объект исследований:* разработка инструкции по расчету параметров анкерного крепления горных выработок различного технологического назначения, проводимых и поддерживаемых в заданных условиях, с учетом комплекса влияющих факторов горно-геологического и горнотехнического характера.

*Предмет исследований:* инструкция по расчету параметров анкерного крепления горных выработок.

*Цель работы:* переработка инструкции по расчету и применение технологии анкерного крепления на шахтах УД АО «АрселорМиттал Темиртау».

*Задачи работы:* пересмотреть действующие методики расчета анкерной крепи на основе анализа накопленного опыта анкерного крепления горных выработок на шахтах УД АО «АрселорМиттал Темиртау», шахтах ближнего и дальнего зарубежья; методика должна учитывать различные условия проведения горных выработок (над-, подработка, опорного-, повышенного горного давления, влияние очистных забоев, влияние сближения выработок, сохранение для повторного использования за линией очистного забоя и т.п.).

*Методы исследований:* решение поставленных задач осуществляется на основе анализа отечественного и зарубежного опыта в области создания методик расчета параметров анкерной крепи выработок с учетом комплекса влияющих факторов; проверка сходимости расчетных данных с экспериментальными и адаптация методики для условий шахт УД АО «АрселорМиттал Темиртау».

Методика регламентирует расчет требуемых параметров при проектировании, разработке паспортов крепления, конструировании крепежной системы, надежность и работоспособность анкерной системы в продолжение всего срока службы выработок с обеспечением безопасности работ при установке анкерной крепи.

Инструкция включает: Часть I. Методика расчета одноуровневого анкерного крепления. Часть II: Методика расчета комбинированной крепи (анкерная металлорамная). Часть III: Методика расчета длины и плотности заложения канатных анкеров при анкерном и комбинированном креплении горных выработок.

В разработке инструкции принимали участие: профессор кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых», д.т.н. **Демин В.Ф.**, доцент кафедры «Высшая математика», к.т.н. **Журов В.В.** (НАО «КарГУ имени Абылкаса Сагинова»).

Инструкция по расчету и применению анкерной крепи на шахтах УД АО «АрселорМиттал Темиртау» прошла независимую экспертизу в ТОО «Казахстанский научно-исследовательский институт промышленной безопасности» (КазНИИПБ).

Разработана инструкция по расчету и применению анкерной крепи на шахтах УД АО «АрселорМиттал Темиртау», включающая методики расчета: одноуровневого анкерного крепления; комбинированной крепи (анкерная металлорамная); длины и плотности заложения канатных анкеров при анкерном и комбинированном креплении горных выработок.

#### *ЧАСТЬ I. Методика расчета одноуровневого анкерного крепления*

Выбор типа и параметров анкерной крепи зависит от множества геологических, горнотехнических и технико-экономических факторов, к которым относятся: строение и физико-механические характеристики горных пород, степень нарушенности и водоносность место-

рождений, глубина разработки, расстояние между пластами, конфигурация, назначение и срок службы выработки, условия ее эксплуатации, расход, стоимость, дефицитность и прочностные свойства материалов анкерной крепи, технологичность изготовления и возведения крепи и др.

Самостоятельная анкерная крепь применима для горизонтальных и наклонных (до  $35^\circ$  и при угле падения пород в т.ч. более  $35^\circ$ ) подземных горных выработок и их сопряжений при следующих горно-геологических и горнотехнических условиях угольных шахт: максимальная расчетная ширина выработки – не более 7 м; поддерживаемые в ненадработанном и неподработанном, также полностью над- и подработанном массивах на расстояниях, соответственно, больше ширины выработки и двенадцати мощностей пласта; прочность на одноосное сжатие оставляемой угольной пачки в кровле горной выработки или сопряжения – не менее 15 МПа.

Самостоятельная анкерная крепь не применяется как правило, при проведении горных выработок в особо сложных горно-геологических условиях: в зонах проявлений повышенного горного давления под- и над целиками и краевыми частями на сближенных пластах в зонах разрывных геологических нарушений с дроблеными и обводненными (капезж, струи) породами; при наличии выветренных, пластичных вмещающих пород; замки складок; массивы с выветренными и пластичными породами. Однако, при устойчивых породах кровли с прочностью пород на сжатие  $R_{ск} \geq 35$  МПа, в т.ч. при выработках, проведенных вприсечку к выработанному пространству (предыдущий выемочный столб), возможно применение самостоятельной анкерной крепи с ежесуточным контролем деформаций пород кровли посредством реперных станций, устанавливаемых не более чем через 10 м и проведение видеоэндоскопических исследований, при наличии соответствующего оборудования.

При применении технологии одноуровневого анкерного крепления по расчетным параметрам в связи с расширением области его применения по заданным критериям (прочности пород на сжатие  $R_{ск} < 25$  МПа и смещений пород кровли более 150 мм) производить текущий ежесуточный мониторинг состояния устойчивости контуров выработок и вносить коррективы в паспорт проведения и крепления приконтурных пород по разрешению Технического руководителя предприятия.

*Горнотехнические условия применения технологии анкерного крепления при проведении горных выработок как самостоятельной крепи.*

*По сроку службы выработок.* Использование анкерной крепи рекомендуется в горных выработках и сопряжениях сроком службы до 10 лет с сухими породами в кровле и при влажности воздуха меньше 85%.

*По обводненности.* В горных выработках с обводненными породами происходит их разупрочнение, и, поэтому расчетное сопротивление пород сжатию должно корректироваться из-за их увлажнения.

*По под- и надработке разрабатываемых угольных пластов.* Горные выработки, поддерживаемые в ненад- и неподработанном, также полностью над- и подработанном массивах на расстояниях, считаются соответственно, больше ширины выработки и двенадцати мощностей пласта.

*По зонам повышенного и опорного горного давления, влияния очистных работ, скважин направленного гидроразрыва пласта.* Применение одноуровневой анкерной крепи в качестве единственного средства крепления выработок в таких зонах не допускается, однако при устойчивых породах кровли с прочностью пород на сжатие  $R_{ск} \geq 35$  МПа, возможно применение самостоятельной анкерной крепи с ежесуточным контролем деформаций пород кровли посредством реперных (замерных) станций, устанавливаемых не более чем через 10 м.

*По пересечению наслоений пород* (пластовые и полевые выработки). При пересечении наслоений пород (пластовые и полевые выработки) крепление самостоятельной анкерной крепью не рекомендуется.

*По выработанному пространству.* Для крепления выработок, поддерживаемых позади лавы (прямоточная схема проветривания), необходимо использовать анкерно-рамную крепь; при возвратноточной схеме проветривания впереди лавы – анкерную и усиливающую крепь (рама+анкер, гидростойка, двухуровневое анкерование).

Применение самостоятельной одноуровневой анкерной крепи не рекомендуется при креплении сопряжений горных выработок.

По воздействию смежных выработок. Ширина угольного целика принимается более 15 м.

Расчет параметров анкерной крепи. Исходными данными, необходимыми для расчета сопротивления анкерной крепи, длины анкеров, количества анкеров в рядах и расстояние между рядами, а также дополнительных средств усиления, являются: условия проходки, охраны и поддержания; расчетная ширина, высота выработок и сопряжений в проходке; расчетная глубина расположения от поверхности; тип строения пород кровли; класс устойчивости пород непосредственной кровли; сопротивление пород кровли на сжатие; расчетная (фактическая) несущая способность анкеров.

Расчетная ширина всех протяженных выработок принимается равной их максимальной фактической ширине в проходке. Расчетная глубина для сопряжений принимается равной фактической глубине от поверхности. Расчетная глубина для протяженных горизонтальных и наклонных выработок, различные участки которых находятся на разных отметках, отличающихся не более чем на 20%, принимается равной их максимальной глубине. При большей разности отметок расчетная глубина таких выработок принимается по участкам с различными глубинами.

Определение расчетного сопротивления пород кровли и боков выработки. Для определения параметров крепления горной выработки на первом этапе производится вычисление средневзвешенного значения сопротивления пород кровли на высоту  $0,5B$  (рисунок 1).

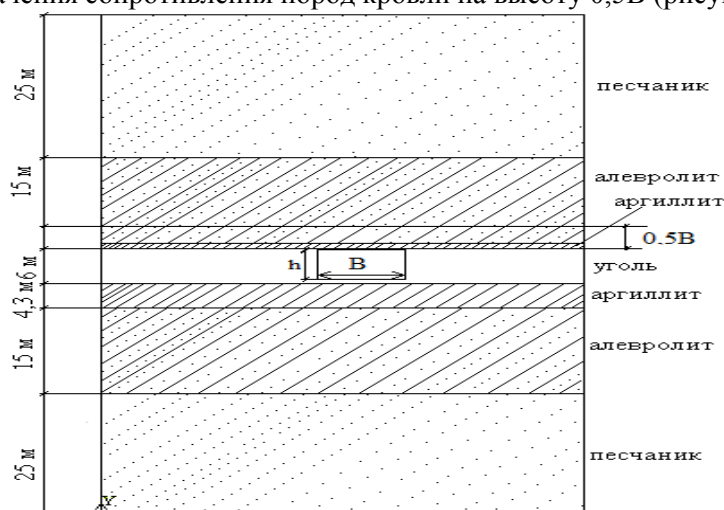


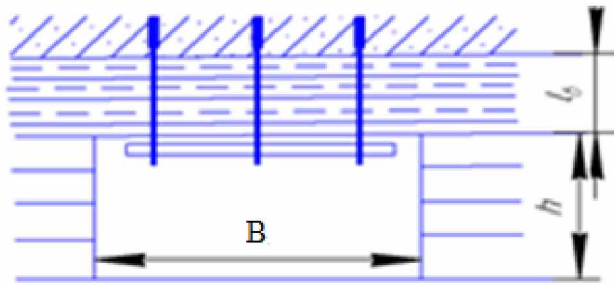
Рисунок 1 – Расчетная схема для определения параметров крепления горной выработки

По полученному значению  $R_{ск}$  (МПа) и глубине заложения выработки определяется смещение пород кровли. В горных выработках, проводимых в массиве и поддерживаемых в продолжение всего срока службы вне зоны влияния очистных работ, величина расчетных смещений кровли. В пластовых выработках, проводимых в массиве и охраняемых за лавой целиком  $\ell_{ц} > 15$  м, а затем погашаемых за смежной лавой, определение расчетных смещений кровли за весь срок службы.

В пластовых выработках, проводимых в массиве и погашаемых лавой. В пластовых выработках, проводимых в массиве, а затем охраняемых разрушающимся в выработанном пространстве целиком шириной 2-3 мощности пласта и поддерживаемых на границе с выработанным пространством.

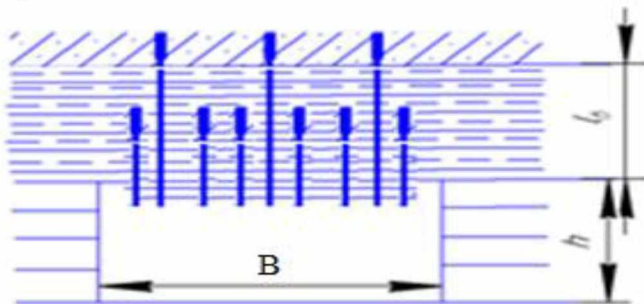
В пластовых выработках, проводимых вприсечку к выработанному пространству с угольным целиком шириной 2-4 м на расстоянии от отрабатываемой лавы больше 200 м и погашаемых смежной лавой, величина расчетных смещений кровли.

Определение смещений пород кровли в зонах повышенного горного давления (ПГД). Смещения пород кровли в горных выработках, проводимых после отработки сближенного пласта и расположенных в зоне от краевой части смежного пласта. Определение основных параметров анкерной крепи в зависимости от схем крепления пород кровли, смещений и прочности вмещающих пород. Вычисляется расчетное сопротивление пород кровли после обнажения на высоту  $0,5B$ . Если расчетное сопротивление пород кровли  $R_{ск} \geq 25$  МПа, а значение смещений пород кровли  $U \leq 250$  мм, тогда рекомендуется расчетная схема 1 – самостоятельное одноуровневое анкерное крепление (рисунок 2).



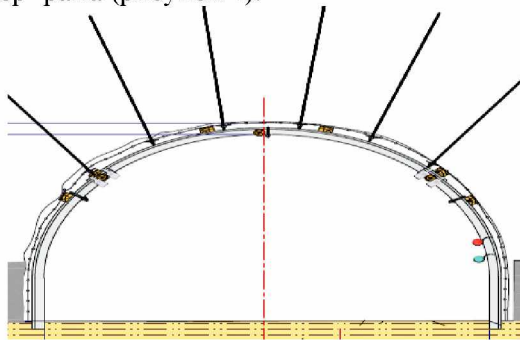
**Рисунок 2 - Расчетная схема 1  
(самостоятельное одноуровневое  
анкерное крепление)**

Если  $R_{сж} \geq 25$  МПа рекомендуется расчетная схема 2 с двухуровневым креплением (рисунок 3):



**Рисунок 3 - Расчетная схема 2  
(двухуровневое крепление)**

Если  $R_{сж} \geq 25$  МПа – рекомендуется расчетная схема 3 с комбинированным креплением: анкер+рама (рисунок 4).



**Рисунок 4 - Расчетная схема 3  
(комбинированное крепление: анкер + рама)**

*Расчет параметров крепи в боках горных выработок.* Необходимыми исходными данными для расчета параметров анкерной крепи в боках выработок являются их расчетная высота, расположение, мощность и расчетное сопротивление на сжатие слоев пород и пластав боках выработки.

*Спецификация материалов для анкерного крепления* (при одноуровневом анкерном креплении). Металлический жесткий анкер. Стеклопластиковый анкер. Опорная сферическая шайба (опорная демпфирующая плитка). Гайка со сферой. Полосовой анкерный подхват (штрипс). Химическая смола

Сформирован технологический раздел - при креплении анкерами как самостоятельной крепью горной выработки. Критерии качественной установки анкеров. Технические требования к применению анкерной крепи с химическим закреплением в шпурах (скважинах) для крепления выработок в угольных шахтах. Основные требования назначения анкерной крепи. Оценка работоспособности анкерной крепи и контроль за качеством и состоянием крепления анкерной выработки.

*ЧАСТЬ II: Инструкция по расчету комбинированной крепи (анкерной и металлорамной)*

*Область применения комбинированных крепей и их конструктивные составляющие.*

Применение анкерной крепи в качестве единственного вида крепления не допускается в горных выработках, расположенных в зонах геологических нарушений, выветренных и обводненных пород, при наличии тонких прослоек угля, кальцита или углистых аргиллитов в пределах глубины заделки анкеров.

В горных выработках с породами II категории устойчивости, когда смещения кровли достигают более 250 мм, применять комбинированную крепь, состоящую из анкеров с металлическими подхватами, решетчатой затяжки и металлоарочной крепью.



Границами применения анкерного крепления в сочетании с металлоарочной крепью (комбинированная крепь) являются следующие условия.

В выработках, в кровле которых залегают неустойчивые породы ( $R_{ск} < 25$  МПа), анкерная крепь применяется только в сочетании с другими видами крепи (комбинированная крепь). При этом анкеры в сочетании с металлическими подхватками, решетчатыми затяжками применяются для крепления кровли выработки с прочностью углей и пород на сжатие  $R_{ск}$  соответственно не менее 10 и 25 МПа, а также боков выработки с прочностью углей и пород на сжатие не менее 6 и 20 МПа.

*ЧАСТЬ III: Методика расчета длины и плотности заложения канатных анкеров при анкерном и комбинированном креплении горных выработок*

*Условия применения канатных анкеров*

Если высота отслоившейся породы ниже длины анкерных болтов, поведение выработки будет удовлетворительным (при условии, что напряжения в массиве остаются неизменными). Если высота отслоившейся породы выше высоты (длины) анкеров, увеличение напряжения перед забоем вызовет обрушение кровли. Для поддержания выработки потребуется установка более длинных арматурных стержней (усиление тросовыми и канатными анкерами длиной 5-7 и более метров или составными анкерами) или - комбинированное крепление выработки из сочетания арок рамной податливой и жесткой анкерной крепей.

## 2.28. ИНСТИТУТ ГЕОМЕХАНИКИ И ОСВОЕНИЯ НЕДР НАН КР

Общая количество сотрудников Института составляет 66 человека, в т.ч. 8 докторов, из них 2 академика и 2 члена-корреспондента, и 20 кандидатов наук. Удельный вес молодых ученых (до 35 лет) 10,2%. Бюджетное финансирование – 13963 тыс. сом. Сумма внебюджетных поступлений составила – 2471,5 тыс. сом.

Проект: *Научное обоснование и разработка рекомендаций по эффективному освоению месторождений полезных ископаемых в высокогорных районах Кыргызской Республики*

*Важные результаты*

Установлено, что в прослойке между блоками горных пород при переходе от песка и глины к их смеси равной доле с 10% глицерина сцепление меняется от 0,007 до 0,11 кПа, а угол внутреннего трения 37-40 градуса. Установлены корреляционные связи между прочностными и кинематическими характеристиками песчано-глинистого заполнителя при различной влажности и толщине его слоя.

Определены характеристики механических свойств и остаточные напряжения горных пород месторождений Кумтор и Бозымчак;



Экспериментальная установка

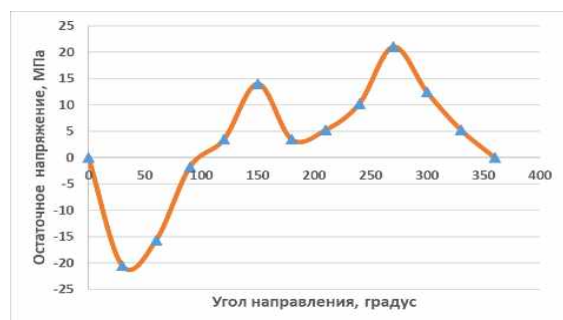


График остаточных напряжений для разных направлений, проба F – 11b–1, образец 3, р. Кумтор (уступ 4230, темно-серый, черный филлит с кварц карбонатными прожилками)

Оценены горно-геологические условия бурогольного месторождения «Бель-Алма» для обоснования целесообразности применения циклично-поточной технологии (ЦПТ) и возможности применения конвейерного транспорта.

Проведен укрупненный расчет объема горно-капитальных выработок при вскрытии нижних горизонтов золоторудного месторождения Джамгыр с применением малогабаритного оборудования.

Произведены технико-экономические расчеты по внедрению циклично-поточной технологии при разработке рудных месторождений (на примере рудника Джеруй) для перемещения вскрышных пород.



**Буроугольное месторождение Бель-Алма**



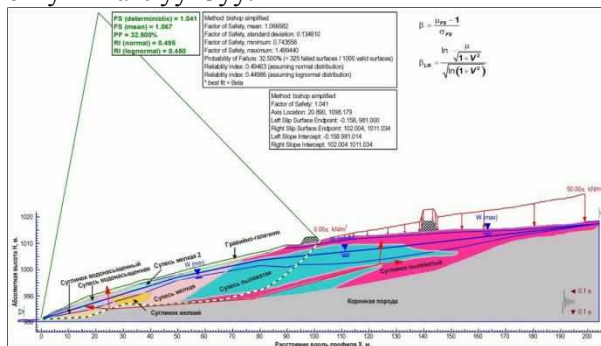
**Технологическая схема ЦПТ для транспортировки вскрышных пород**

Проект: *Совершенствование методов прогнозирования опасных природно-техногенных процессов и оценка геоэкологических рисков на территории освоения минеральных и гидротехнических ресурсов Кыргызстана*

**Важные результаты**

На основе адаптации руководящих принципов международного стандарта ISO 21 795 разработана модель экспертной балльной оценки эффективности закрытия хранилища горных отходов в части решения технических проблем.

Разработаны элементы и обобщены методические положения к прогнозированию динамики риска разрушения законсервированных хвостохранилищ в многолетнем аспекте — сто и более лет хранения опасных отходов и продемонстрировано их применение к урановому объекту в Майлуу-Суу.



**Расчётная модель оценки устойчивости низового откоса дамбы хвостохранилища № 3 в г. Майлуу-Суу**



**Эволюция дамбы хвостохранилища во времени в соответствии с мнениями экспертов**

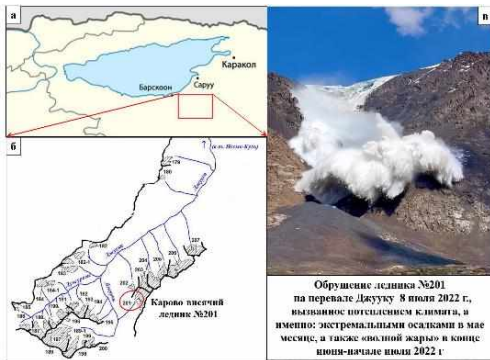
Выполнены оценка и ранжирование риска, связанного с возможными авариями на хвостохранилищах, размещённых в трансграничном бассейне реки Нарын – Сырдарья; Разработаны меры по предупреждению загрязнения рек Нарын-Сырдарья при возможных аварийных ситуациях на хвостохранилищах;

Разработаны предложения по созданию систем локального мониторинга оползней на 20-и наиболее оползнеопасных участках в Джалалабадской и Ошской областей, включая выбор и обоснование конкретных мест установки приборов и аппаратуры для мониторинга оползневых процессов;

Выполнена оценка изменения состояния моренно-ледниковой плотины оз. Петрова на высокогорном руднике Кумтор и обрушения ледника Джууку (№201) в связи с происходящим изменением климата;

Разработаны рекомендации по снижению пресадочности грунтов на площадке Главной вентиляторной установки рудника Бозымчак.

Продолжилось научное сопровождение мониторинга неустойчивого блока массива горных пород на участке основных сооружений (плотины) Токогульской ГЭС и оползней Туяк-Су (Мин-Куш) и Аю (Узгенский район).



**Обвал ледника Джуюку**



**Система мониторинга на 20 оползнеопасных участках юга Кыргызстана**

*Научно-инженерный центр «ГЕОПРИБОР» выполнил следующие НИР:*

1. По контракту с Международным центром экологического менеджмента в рамках проекта Азиатского Банка Развития ТА-9726 KGZ «Предлагаемый проект по управлению рисками оползней в Кыргызской Республике - подготовка технико-экономического обоснования инвестиций» выполнил научно-исследовательские работы по обоснованию и выбору 20 оползнеопасных участков, на которых в рамках инвестиционного проекта АБР в 2022-2026 гг. планируется обустройство региональных и локальных систем оползневого мониторинга.

2. По договору подряда с ЗАО «Кумтор Голд Компани» продолжение по «Оценка геотехнических и экологических рисков, связанных с разработкой золоторудного месторождения Кумтор».

3. По договору с Каскадом Токтогульских ГЭС «Мониторинг потенциально неустойчивых массивов на участке основных сооружений Токтогульской ГЭС».

4. В соответствии с приказом по МЧС КР «О реализации проекта «Управление рисками оползней в Кыргызской Республике» № 995 от 26.08.2022: 1) содействует в проведении инженерно-геологических изысканий, геофизических исследований на участках разгрузки, стабилизации оползней и установки оборудования мониторинга оползней; 2) содействует в разработке новых методов прогнозирования с учетом создаваемой системы мониторинга оползней. 3) содействует в разработке геотехнических методов по разгрузке, стабилизации оползней; 4) оказывает консультационные услуги при проектировании, проведении работ по разгрузке, стабилизации оползней, а также ЭИТО объектов после завершения работ.

*Научно-проектный центр «ГЕОСЕРВИС» выполнил следующие НИР:*

1. По договору с ЗАО «Кумтор Голд Компани»:

- «Оценка и прогноз устойчивости отвалов рудника Кумтор в долинах Чон-Сарытор, Кичи-Сарытор и Северо-Восток, 2022-2023гг»;
- «Оценка устойчивости зоны деформации восточного борта Р320 в контурах».

2. По договору с ОсОО «Алмаз Билдинг» НИР «Расчет угла откоса карьера и его влияние по объекту «9-ти этажный жилой дом с объектами СКБ на территории мкр.№1 г. Бишкек».

3. По договору с Учреждением ПИЦ «Кен-Тоо» «Заключение на выполненный ПИЦ «Кен-Тоо» раздел «Оценка устойчивости хвостохранилища» в проекте «Изменение параметров складирования при эксплуатации хвостохранилища горнодобывающего комплекса «Иштамберды».

4. По договору с ГУ "Межрегиональный центр по защите территорий" МЧС КР НИР «Определение физико-механических свойств и морозостойкости камня Жети-Огузского р-на, с. Кызыл-Суу».

### **Научно-организационная деятельность**

Всего опубликовано 34 статьи, из них 14 за рубежом. Статьи: Scopus - 3, РИНЦ - 18. Издано 1 монография. Изданы 1 учебник, 1 учебно-методическое пособие и 4 методических указаний для ВУЗов. Подготовлено и защищено 1 докторская и 2 кандидатские диссертации. Сотрудники ИГиОН приняли участие в работе 19 международных и республиканских научных конференциях, форумах и семинарах.

18 сотрудников института преподают в ВУЗах Бишкека.

В Институте функционирует диссертационный совет Д 26.21.643 и совместная: кафедра «Разработка месторождений полезных ископаемых» (КГГУ) и 2 учебно-научных лаборатории (КГУСТА, КГГУ).

В аспирантуре обучаются 5 человек.

**2.29. ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
«РЕСПУБЛИКАНСКИЙ АКАДЕМИЧЕСКИЙ НАУЧНО-  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ И ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСКИЙ  
ИНСТИТУТ ГОРНОЙ ГЕОЛОГИИ, ГЕОМЕХАНИКИ, ГЕОФИЗИКИ И  
МАРКШЕЙДЕРСКОГО ДЕЛА»  
МИНИСТЕРСТВА ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ**

Фундаментальные и прикладные исследования проводятся в рамках следующих основных направлений научных исследований ГБУ «РАНИМИ»: «Геомеханические исследования напряженно-деформированного и газодинамического состояния массива горных пород для обеспечения эффективной и безопасной эксплуатации месторождений полезных ископаемых»; «Исследования деформаций породного массива и земной поверхности, влияния горных работ на подземные и наземные сооружения и разработка мероприятий их защиты»; «Изучение строения и геодинамики литосферы геолого-геофизическими методами с целью поисков месторождений полезных ископаемых и прогноза горно-геологических условий их эксплуатации и экологических изменений окружающей среды».

В 2022 году Институт проводил научные исследования по 7 темам ведомственной тематики Министерства образования и науки и Государственного комитета по науке и технологиям, в том числе по 5-ти фундаментальным и 2-м прикладной темам. Кроме того, было выполнено 17 хоздоговорных работ.

Наиболее значимые результаты по направлению **«Геомеханические исследования напряженно-деформированного и газодинамического состояния массива горных пород для обеспечения эффективной и безопасной эксплуатации месторождений полезных ископаемых»:**

**«Исследование устойчивости и трансформации напряженно-деформированного состояния обводненных массивов горных пород».**

В отчетном периоде проведены исследования по определению условий безопасной подработки и наработки обводненных массивов и разработке аналитической модели двухслойного массива для одиночной очистной выработки на пологом падении.

Получены следующие научные и практические результаты.

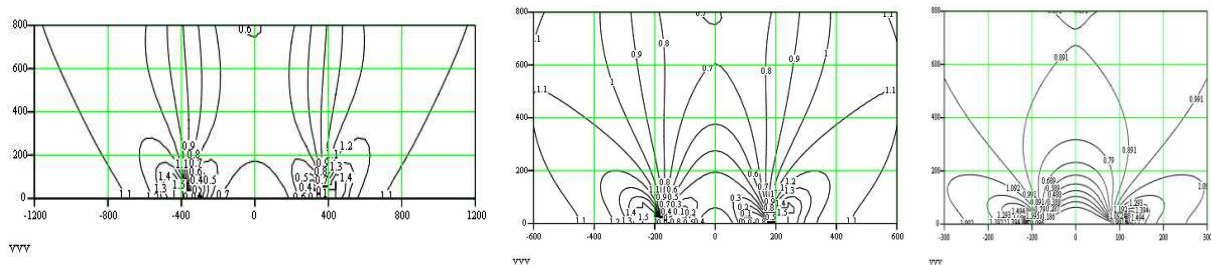
1. Разработана аналитическая модель формирования и эволюции напряженно-деформированного состояния (НДС) двухслойного массива при ведении очистных работ и обводнении. На основании проведенных исследований получено полное решение задачи о напряженно-деформированном состоянии массива горных пород, где удалось увязать основные физико-механические, геометрические и гидрогеомеханические параметры обводненного подработанного массива.

На рисунке 1 приведены изолинии коэффициентов концентрации вертикальных напряжений при развитии очистных работ для следующих условий  $H=800$  м,  $m=1$  м, длина лавы  $a=200, 400$  и  $800$  м, модуль упругости массива 14 ГПа, коэффициент Пуассона 0,3.

2. Сформирована база данных изменения физико-механических свойств горных пород в сухом и влагонасыщенном состоянии по различным регионам Донбасса. На основании выполненных исследований определены поправочные коэффициенты в условия безопасной подработки и наработки обводненных массивов, которые будут применяться при разработке рекомендаций по отработке свиты пластов в обводненных массивах горных пород.

3. Составлена классификация геомеханических процессов, протекающих в массиве при обводнении.





$a=400\text{ м}$

$a=200\text{ м}$

$a=100\text{ м}$

**Рисунок 1 – Поле коэффициентов концентрации вертикальных напряжений при развитии очистных работ при  $a = 400\text{ м}$ ,  $200\text{ м}$  и  $100\text{ м}$**

4. Проведены экспериментальные наблюдения (рисунок 2) и выполнено имитационное моделирование затопления стволов пяти шахт ДНР и ЛНР с определением необходимой расчетной крепи при различных уровнях их затопления. Создание моделей затопления вертикальных стволов производилось с целью контроля над процессом затопления и анализа динамики геомеханической ситуации во вмещающих стволы обводненных горных массивах.

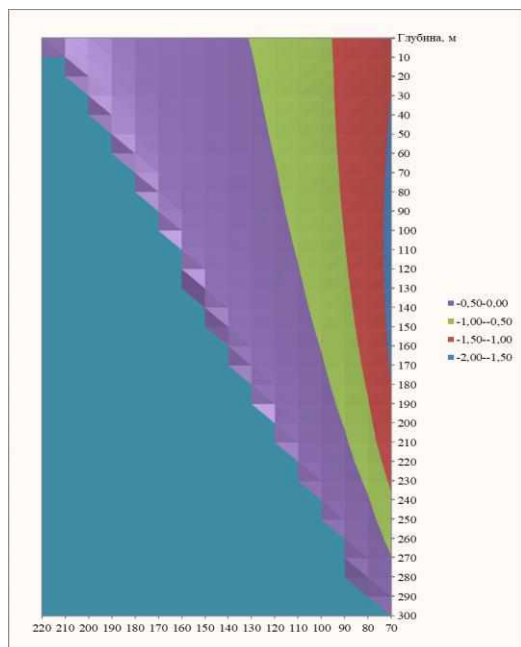


*a)*

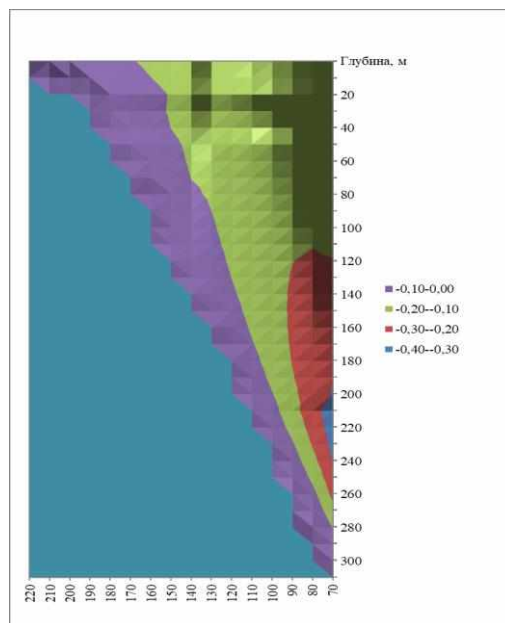


*б)*

**Рисунок 2 – Экспериментальные исследования в вертикальном стволе шахты им. Ф.Э.Дзержинского (ЛНР): *a)* аппаратура телеметрического мониторинга; *б)* обнаруженный водный поток в стволе**



*a)*



*б)*

**Рисунок 3 – Изменение величин: *a)* наклонов *б)* вертикальных деформаций в горном массиве по глубине при подходе лавы к стволу от 220 до 70 м**



5. Разработана рецептура синтетического состава для закрепления неустойчивых пород и грунтов и гидроизоляции обводненных горных массивов.

Рецептура скрепляющего состава определяется соотношением его компонентов, при котором достигаются необходимые эксплуатационные показатели – прочность на сжатие и адгезии, усадка, время гелеобразования и отверждения. В качестве базового сырья для разработки усовершенствованного скрепляющего состава была взята *мочевино-формальдегидная* (карбамидная) смола, которая является продуктом поликонденсации мочевины с водным раствором формальдегида, и представляет собой негорючую, не взрывоопасную водную суспензию. Для улучшения эксплуатационных качеств карбамидного состава была поставлена задача – подобрать в качестве отвердителя вещество, способное на первой стадии реакции химически связать воду в карбамидной смоле, а затем создать в растворе кислую среду для образования полимера. Всем этим условиям в наибольшей степени удовлетворяет изо-метилтетрагидрофталевый ангидрид (изо-МТГФА).

При отверждении карбамидной смолы изо-метилтетрагидрофталевым ангидридом (изо-МТГФА) образуется карбамидно-ангидридный скрепляющий состав, который в отличие от карбамидно-кислотных составов имеет трехмерную сетчатую структуру за счет сшивки макромолекул метиленовыми группами; обладает более прочными водородными и углерод-водородными связями в амидных группах; характеризуется преобладанием сложных эфиров и отсутствием слабых метиленэфирных связей и содержит большое количество функциональных групп с высокой реакционной способностью, что в совокупности определяет его повышенную прочность (45-65 МПа), высокую адгезию к горным породам (3,5-5,4 МПа) и небольшую усадку (0,6-2,1%), при этом количественные значения этих показателей по разному зависят от объемной концентрации в составе ( $k_v$ ) изо-МТГФА, а наилучшее интегральное качество карбамидно-ангидридного скрепляющего состава достигается при  $k_v = 10\%$ .

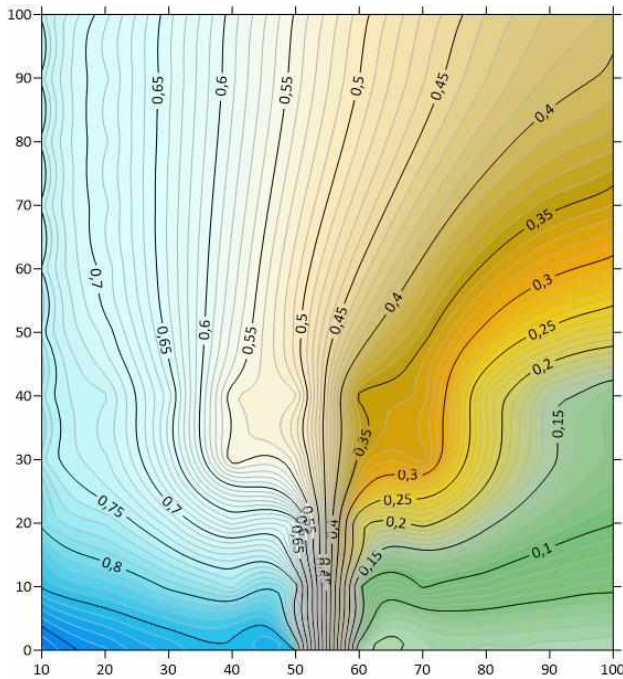
#### **«Разработка основ управления гидродинамическим режимом при пологом залегании угольных пластов в условиях массового закрытия и консервации угольных предприятий»**

В 2022 году разработаны основы управления гидродинамическим режимом при пологом залегании угольных пластов в условия массового закрытия и консервации угольных предприятий. Суть данного этапа работы заключалась в использовании разработанной ранее модели для оценки и анализа влияния основных параметров гидродинамического режима затопления горных выработок на установление безопасного уровня затопления.

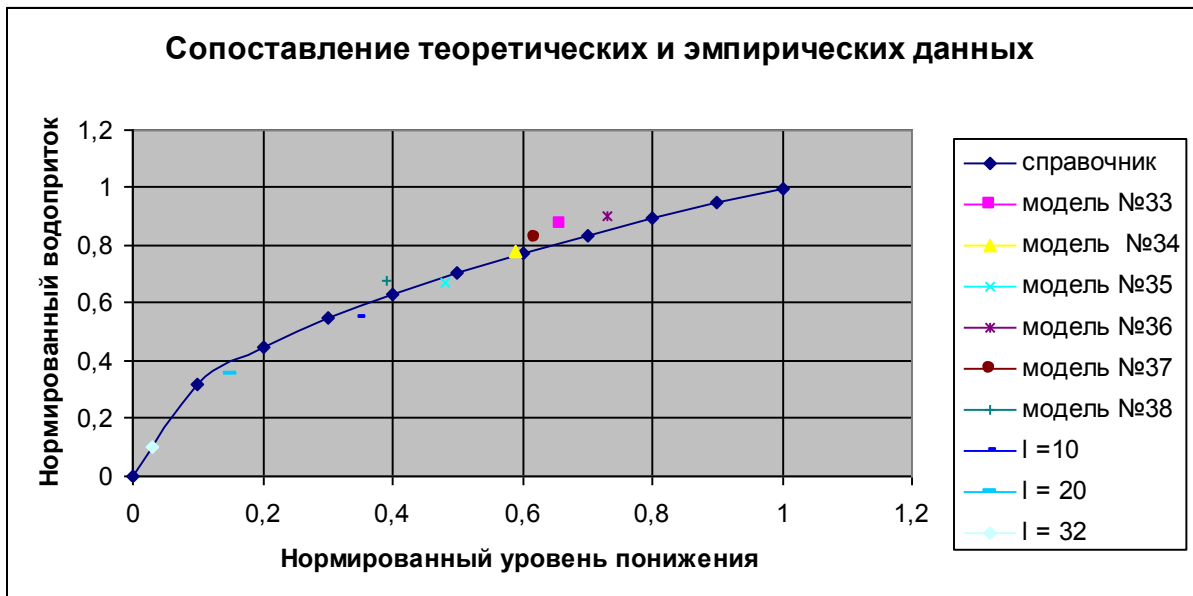
В рамках развития метода математического моделирования процессов подземной гидросферы решен вопрос формулирования соответствующих задач при ее математической постановке:

- разработана методика количественной оценки фильтрационной неоднородности исследуемой среды;
- разработана методика аппроксимации области фильтрации и определения обобщенных свойств отдельных элементов расчетной схемы;
- разработана методика построения региональных моделей для групп гидравлически связанных объектов;
- выполнена схематизация процессов подземной гидросферы;
- разработана математическая модель массопереноса в среде представленной системой структурных блоков и разделяющих их проводящих трещин (среде с двойной пористостью);
- выполнено моделирование типовых задач подземной гидродинамики для определения степени влияния различных горнотехнических параметров и особенностей дренажных мероприятий на основные характеристики процессов при массовом затоплении угольных предприятий (рисунок 4);
- выполнено сопоставление результатов моделирования с основными эмпирическими закономерностями процессов подземной гидросферы, характерными для данного региона (рисунок 5).

Разработаны предложения по управлению гидродинамическим режимом на примере участка шахты им. Горького, которые позволяют предотвратить негативные последствия неконтролируемого процесса затопления угольных шахт, имеющие значение регионального характера.



**Рисунок 4 - Характер распределения нормированного пьезометрического напора  $H$  в горном массиве в зоне влияния ненормативного целика в квазистационарном состоянии**



**Рисунок 5 - Оценка результатов моделирования**

Наиболее значимые результаты по направлению «Исследования деформаций породного массива и земной поверхности, влияния горных работ на подземные и наземные сооружения и разработка мероприятий их защиты»:

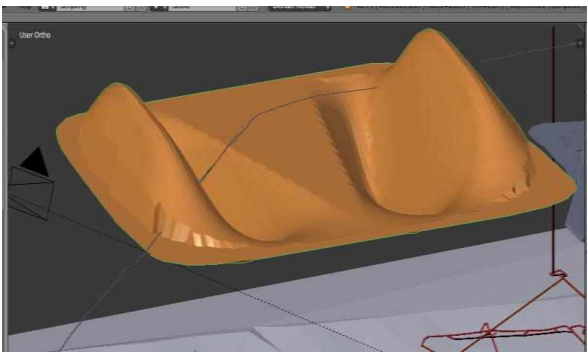
**«Разработка проекта нормативного правового акта «Правила подработки зданий, сооружений и природных объектов при добыче угля подземным способом»**

Разработанный проект нормативного правового акта «Правила подработки зданий, сооружений и природных объектов при добыче угля подземным способом» включает следующие разделы: раздел I «Общие положения»; раздел II «Общие требования»; раздел III «Правила определения границ зон влияния горных выработок и продолжительности процесса сдвижения действующих и закрывающихся шахт»; раздел IV «Требования по рациональной выемке угля и применению мер защиты подрабатываемых зданий и сооружений на горных отводах действующих и закрывающихся шахт»; раздел V «Требования по рациональной выемке угля под водными объектами, лесонасаждениями и породными отвалами»; раздел VI «Правила построения предохранительных целиков».

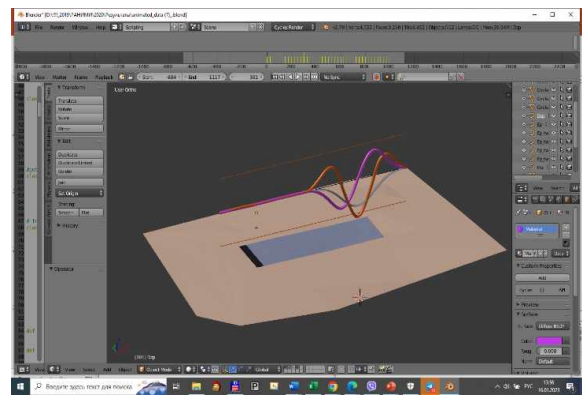
Кроме того неотъемлемой частью проекта НПА являются 14 приложений, включающих ряд новых моделей и методик:

- модель влияния мезорельефа на характер деформаций земной поверхности;
- модель динамики изменения деформаций земной поверхности над движущимся очистным забоем;
- методика прогноза сдвижений и деформаций земной поверхности в области прогноза активизации сдвижений и деформаций при затоплении горных выработок закрывающихся шахт;
- методика определения расчётных показателей деформаций земной поверхности для подрабатываемых зданий и сооружений;
- требования по рациональной выемке угля и применению мер защиты подрабатываемых зданий и сооружений.

Применение приведенных разработок позволяет существенно повысить точность расчета деформаций земной поверхности при подработке, и обеспечить своевременное применение мер защиты и безаварийную эксплуатацию объектов. Пример использования разработанных результатов приведен на рисунке 6.



а



б

**Рисунок 6 – Визуализация распределения относительных деформаций вдоль линии газопровода-отвода (а) и определение момента превышения расчетных показателей деформаций земной поверхности над допустимыми в процессе движения лавы (б)**

Использование методики прогноза деформаций земной поверхности с учетом трапециевидной мульды сдвижения и влияния мезорельефа позволит уточнить зону влияния горных работ на земной поверхности и распределение величин деформаций в зоне влияния горных работ.

Внедрение в НПА методики прогноза деформаций земной поверхности над движущейся очистной выработкой с учетом характера нарастания деформаций во времени позволит своевременно определять превышение допустимых деформаций для протяженных объектов (трубопроводные коммуникации, железные дороги и др.) в процессе подработки и вычислять оптимальные сроки применения мер защиты.

Применение методики прогноза активизации сдвижений и деформаций при затоплении горных выработок закрывающихся шахт с учетом особенностей рельефа поверхности и пластов позволяет уточнить результаты прогноза деформаций от затопления, обеспечить решение масштабных прогнозов деформаций земной поверхности при затоплении всех горных выработок шахты и обеспечить возможность определения оптимального уровня откачки шахтных вод.

Применение разработанной методики назначения конструктивных мер защиты для зданий и сооружений, учитывающей фактическое повреждение конструкций, величину расчетных и допустимых показателей деформаций, позволяет назначать оптимальные меры защиты в различных горнотехнических и эксплуатационных условиях, а также обеспечить их эксплуатационную пригодность при подработке и превышении расчетных деформаций над допустимыми.

Разработан порядок экономической оценки затрат на меры защиты от влияния деформаций земной поверхности при подработке зданий, сооружений и коммуникаций и при влиянии активизации сдвижений и деформаций, а также от влияния подтопления при закрытии шахт, который позволяет оценить затраты на меры защиты.

Наиболее значимые результаты по направлению «Изучение строения и геодинамики литосферы геолого-геофизическими методами с целью поисков месторождений полезных

**ископаемых и прогноза горно-геологических условий их эксплуатации и экологических изменений окружающей среды»:**

**«Разработка теории и методических основ сейсмического прогноза структуры углепородного массива из полевых выработок».**

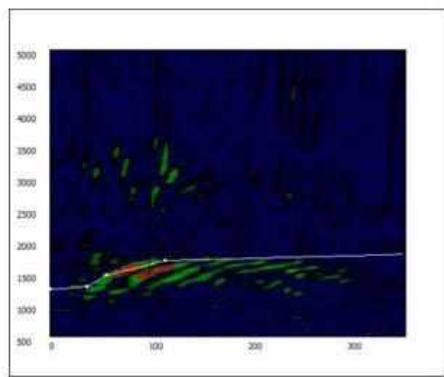
Основные научные и практические результаты заключаются в следующем.

1. Разработаны программные модули обработки сейсмических данных при проведении прогнозных экспериментов из полевых выработок (рисунок 7), являющиеся составной частью программного обеспечения автоматизации обработки и анализа результатов сейсмических исследований при прогнозе структуры углепородного массива в сложных горно-геологических условиях отработки угольных пластов Донбасса. Результаты испытаний подтвердили работоспособность программных модулей и их соответствие предъявляемым требованиям.

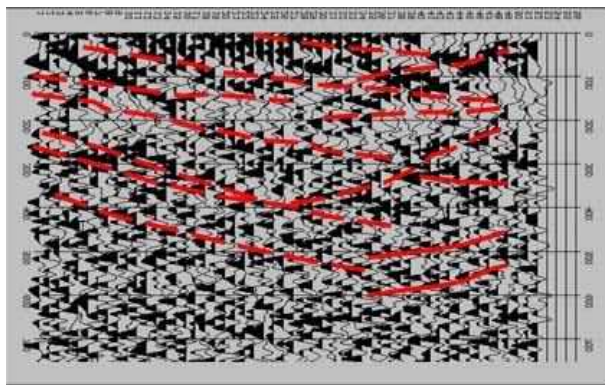
На основе использования программных модулей обработки сейсмических данных при проведении прогнозных экспериментов из полевых выработок разработаны графы камеральной обработки материалов шахтных сейсморазведочных работ.

2. Разработаны методические основы адаптации и использования различных методов сейсморазведки для прогноза геологических аномалий из полевых выработок, в частности, предложены оптимальные системы наблюдений для прогноза пространственного расположения геологических нарушений, обеспечивающие возможность обработки данных в различных плоскостях. Предложены схемы расположения системы наблюдений, обеспечивающие оценку пространственного расположения геологических аномалий при использовании метода отраженных волн по методике общей глубинной точки, метода сейсмической локации и метода дифрагированных волн.

Адаптированы для использования в условиях полевых выработок для различных конкретных методик проведения экспериментов графы предварительной и основной обработки данных. В частности, адаптирован для возможности оценки пространственного расположения геологических нарушений алгоритм использования метода отраженных волн, основанный на построении эллипсов по годографам отраженных волн. Разработан алгоритм определения расположения в пространстве геологических аномалий путем суммирования по гиперболам дифрагированных волн.



а)



б)

**Рисунок 7 – Вертикальный спектр скоростей (а) и сейсмический разрез (б) реальной геологической среды, полученные на основе использования программных модулей обработки сейсмических данных и графа камеральной обработки материалов шахтных сейсморазведочных работ**

3. На основе адаптации различных методов сейсморазведки для прогноза геологических аномалий из полевых выработок разработаны методические рекомендации по выполнению сейсмических экспериментов, обработке и интерпретации их результатов при прогнозе структуры углепородного массива. Положения методических рекомендаций апробированы на данных, полученных за время выполнения НИР на шахтах Донбасса, Казахстана и России, где выполнялись сейсмические эксперименты из пластовых и полевых выработок.

Основные положения методических рекомендаций и программные модули внедрены и широко использовались ООО «Изыскатель» (Ставрополь, РФ) при прогнозе структур углепородных массивов в условиях Карагандинского и Донецкого угольных бассейнов. Применение данных разработок показало их высокую эффективность для выявления тектонических нарушений углепородных массивов из пластовых и полевых выработок.

## **«Создание геолого-геофизической модели формирования аномальных скоплений метана на угольных шахтах в зонах динамического влияния разломов на основе использования микросейсм»**

Получены следующие результаты:

1. При сборе геолого-геофизических и горно-геологических материалов на угольных шахтах ДНР и выполнении анализа результатов изучения геологического строения и газоносности шахтного поля по данным разведки месторождения выявлено ряд особенностей строения и газоносности разломов, расположенных на границе шахтных полей:

- прямым и главным признаком аномальных скоплений метана является аномально высокое пластовое давление (АВПД), тогда как косвенным признаком служит единая цепочка проницаемых разрывных структур, соединяющая глубинный разлом с зоной трещиноватости шахтного поля;

- в Донбассе выделяются глубинные и соскладчатые разломы, подразделяемые на продольные и непродольные образования;

- по положительным и отрицательным аномалиям плотности теплового потока выделяются соответственно современные активные и пассивные сектора разломов, протяженность активных участков достигает 140 км, ширина – 20 км;

- системы тектонических трещин развиты как вдоль разломов, так и между ними на складках и в тектонополосах сдвиговой природы, образующихся в наименее прочных породах (угольных пластах);

- современное раскрытие и проницаемость трещин определяется их субпараллельным простиранием с горизонтальной осью максимальных нормальных напряжений, ориентированной на региональном уровне в северо-северо-западном направлении;

2. При определении условий, благоприятных для скопления газа в приразломной зоне по геологоразведочным данным, выборе участка для проведения геолого-геофизических исследований в пределах шахтного поля, определении газоносности угольных пластов при помощи системы геолого-генетической оценки газоносности и установлении особенностей геологического строения разрывного нарушения, благоприятных для скопления газа определено:

- аргиллитовые пачки, чередующиеся с песчаниковыми пачками, в приразломной зоне создают благоприятные условия для образования аномальных скоплений метана на максимальном удалении от разлома.

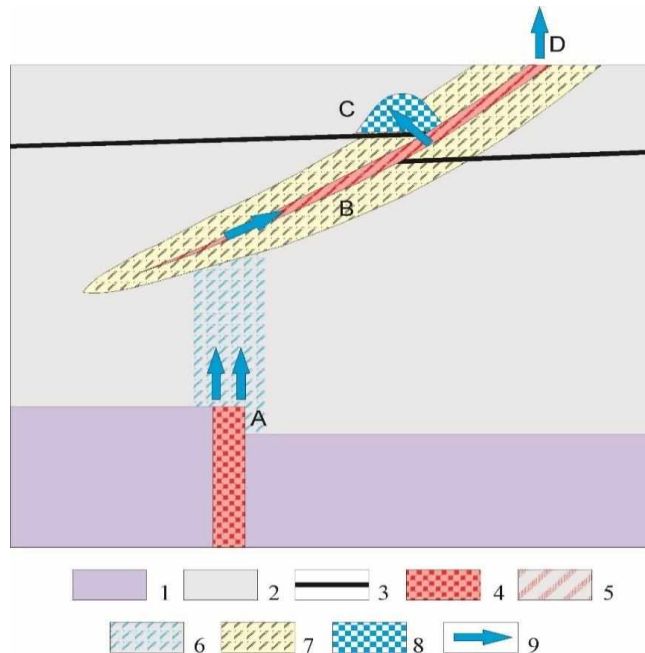
- изотопный состав углерода метана из пласта П1 вблизи надвига и проявления ацетилен в десорбированном газе (до 5%) в зоне динамического влияния надвига, указывают на возможный подток глубинного газа;

- использование геолого-генетической системы оценки газоносности угольных пластов с данными прямого определения газоносности (по ГКН) показало наличие случаев аномальной газоносности, обусловленной АВПД, в зоне влияния надвига.

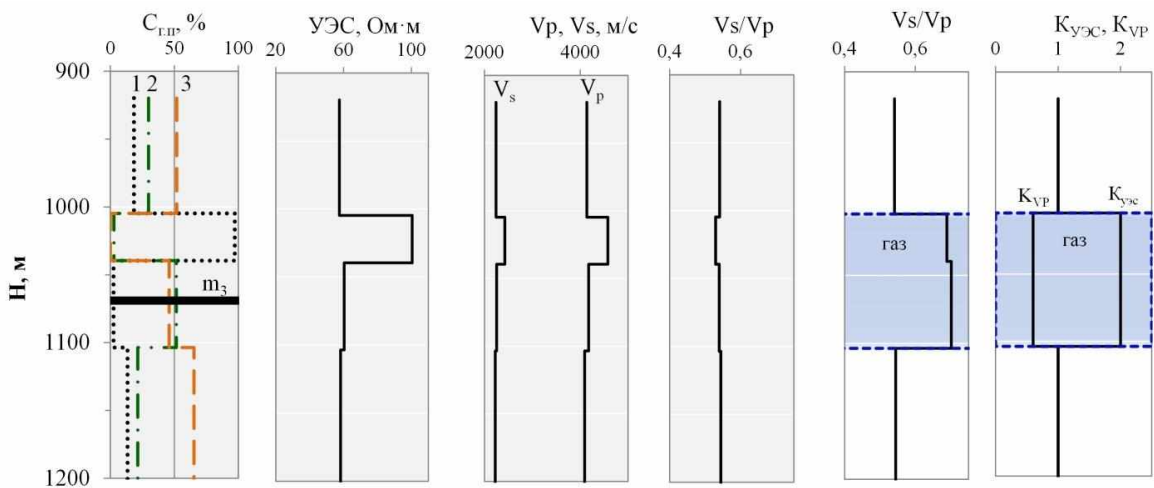
3. Построена априорная геолого-геофизическая модель формирования аномальных скоплений метана, состоящая из двух частей, первая из которых (концептуальная) определяет условия формирования аномального скопления метана в ходе современного трещинообразования и струйной миграции глубинного газа (рисунок 8), а вторая часть (количественная) (рисунок 9), описывает изменение геофизических параметров и состава литологических пачек, включающих скопление метана (рисунок 9); физико-геологические модели разрезов построены для основного (граница шахт им. А.Ф. Засядько и «Щегловская-Глубокая») и дополнительного (шахты «Моспинская») участков геофизических работ; обоснованность моделей базируется на использовании при их построении генетических и эпигенетических закономерностей изменения петрофизических параметров Донбасса.

4. Изготовлен экспериментальный образец микросейсмического регистратора дающий оценку интенсивности глубинного микросейсмического излучения для прогноза зон аномального скопления метана; разработаны методические основы проведения низкочастотного сейсмического зондирования; проведены предварительные и приёмочные испытания экспериментального образца регистратора микросейсмического.





**Рисунок 8 – Концептуальная часть априорной геолого-геофизической модели формирования аномальных скоплений метана: 1 – фундамент; 2 – карбон; 3 – угольный пласт; 4 – глубинный разлом; 5 – подводящий разлом в карбоне; 6 – зона динамического влияния глубинного разлома в карбоне; 7 – зона динамического влияния надвига; 8 – ловушка; 9 – путь миграции газа; А – глубинный разлом (источник газа); В – подводящий разлом; С – ловушка; D – выход разлома и газа на земную поверхность**



**Рисунок 9 – Количественная характеристика априорной геолого-геофизической модели формирования аномальных скоплений метана: 1 – песчанки; 2 – алевролиты; 3 – аргиллиты;  $m_3$  – синонимика целевого угольного пласта; УЭС – удельное электрическое сопротивление;  $C_{z.n.}$  – содержание горных пород в пачке;  $V_p$  – скорость распространения продольных упругих волн;  $V_s$  – скорость распространения поперечных упругих волн;  $K_{УЭС}$  – коэффициент изменения УЭС;  $K_{VP}$  – коэффициент изменения  $V_p$ ; газ – газонасыщенная пачка**

**«Оценка эффективности комплексного освоения ресурсов Покрово-Киреевского месторождения плавленого шпата»**

В результате выполнения первого этапа темы получены следующие результаты:

1. Составлены литологические колонки разведочных скважин в соответствии с документацией керна, на основании которых построены геологические разрезы (в программе MapInfo) по 12 профилям объекта исследования – Покрово-Киреевского месторождения флюорита.
2. Определены факторы рудообразования, влияющие на интенсивность флюоритовой минерализации и пространственное распределение промышленных сортов плавленого шпата.

Установлено, что главными факторами гидротермального рудообразования являются тектоническое строение и литология вмещающих пород отдельных участков. Построен план распределения сортов на месторождении (рисунок 10).

3. Выполнен анализ горногеологических условий разработки месторождения в соответствии с физико-механическими свойствами пород (по данным опробования керна разведочных скважин) и опытом разработки гидротермальных месторождений флюорита России.

4. Проведена типизация объекта исследования и подобраны аналогичные по формационному типу и геологическому строению месторождения плавикового шпата, эксплуатируемые в России - Вознесенское (Приморье) и Эгитинское (Забайкалье) месторождения.

По результатам работ первого этапа определены формационный и промышленный тип объекта исследования, определены главные теоретические факторы рудообразования, которые в дальнейшем будут использованы для решения научных и практических задач.



1 - покровно-киреевская свита (К.рк) внешне-красные и бурые туфогенные глины; 2 - андезиты, андезитовые порфириты андезит-трахиандезитового комплекса (P-T,at); 3 - послекарбонные кератофиристофириновые породы дайкообразные тела; 4 - нижний карбон, известняки турийского и визейского ярусов; 5 - кератофиры, ортофиры антоновской свиты (D<sub>2</sub>,an); 6-7 - рудные тела (тип руд): 6 - карбонатно-флюоритовый, 7 - карбонатно-полевошпато-флюоритовый; 8 - тектонические нарушения; 9 - линия геологического разреза, скважина, ее номер.

**Рисунок 10 - План распределения сортов плавикового шпата в главном рудном теле Покрово-Киреевского месторождения**

**Результаты ГБУ «РАНИМИ» в области сохранения и улучшения состояния окружающей среды:**

**«Обследование территории горных отводов 28 ликвидируемых шахт».**

Получены следующие результаты

1. Определены необходимость и периодичность выполнения геодинамического мониторинга на горных отводах шахт.

2. В результате проведенного обследования территории горных отводов данных шахт определены объекты опасные по возникновению провалов и деформаций поверхности, выполнен расчет провалоопасных зон и проведено их картирование и детальное обследование выделенных зон. Обследованы устья 7834 горных выработок, имеющих выход на земную поверхность и участков близкого к поверхности расположения горных выработок в пределах горных отводов шахт, выявлено и визуализировано 1114 провалоопасных зон и осуществлена их визуализация в геоинформационной системе *Google Earth*. (рисунок 11)



**Рисунок 11 – Поле шахты «Иловайская» с горными выработками и провалоопасными зонами, визуализированными в геоинформационной системе *Google Earth***

3. Выполнены работы по выбору участков для закладки наблюдательных станций на горных отводах шахт с указанием необходимости проведения геодинамического мониторинга на основании расчета ожидаемых деформации вследствие активизации процесса сдвижения при затоплении. Определены параметры активизации процесса сдвижения при затоплении горных выработок и установлены параметры наблюдательных станций и периодичность проведения наблюдений. Разработан проект закладки наблюдательной станции для проведения геодинамического мониторинга земной поверхности с целью обеспечения безопасной жизнедеятельности на техногенно-нагруженных территориях Донбасса.

На рисунке 12 приведена совмещенная карта изолиний ожидаемых оседаний, планов поверхности и проект наблюдательной станции.



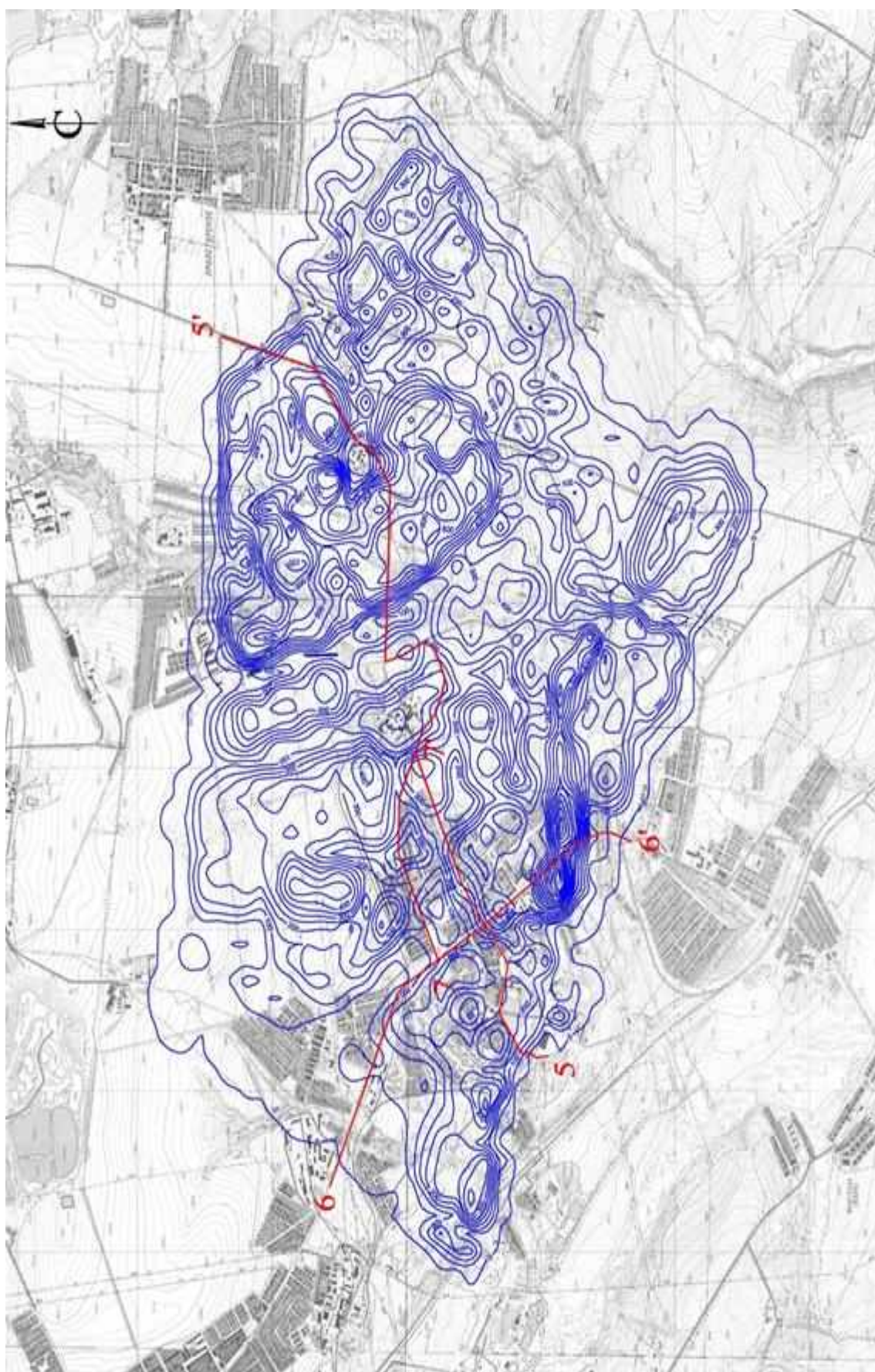


Рисунок 12 - Совмещенная карта изолиний ожидаемых оседаний, планов поверхности и проект наблюдательной станции

## 2.30. КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. К.И.САТПАЕВА

### *Комплексный мониторинг медленных деформационных процессов земной поверхности при крупномасштабном освоении рудных месторождений центрального Казахстана*

*Оценка современного состояния решаемой проблемы и ее актуальность.* Данная работа посвящена решению *проблемы*, заключающейся в прогнозе негативных геомеханических и геодинамических процессов, которые могут вызывать крайне неблагоприятные отрицательные технологические, экологические и экономические последствия при крупномасштабном и длительном освоении недр Центрального Казахстана.

Ведение крупномасштабных горных работ в высоконапряженных массивах скальных пород характеризуется значительными геомеханическими и геодинамическими процессами, связанными с изменением напряженного состояния, деформированием и сдвижением горных пород. Эти процессы влекут за собой не только катастрофические технико-экономические последствия, но и приводят иногда к человеческим жертвам [1,2]. А это является прямым следствием изменения геодинамического режима геологической среды под влиянием крупномасштабных горных работ, что убедительно подтверждается результатами многолетних научных исследований на природно-технической системе «Жезказган», которую образуют рудники, обогатительные фабрики с хвостохранилищами, медеплавильные заводы в Караганде, Балхаше, Жезказгане и Сатпаеве. Соответствующая инфраструктура в Центральном Казахстане является мощным субъектом антропогенного воздействия на окружающую среду, представляющим большие возможности для исследования широкого спектра экологических проблем [3,4].

Разработка рудных месторождений в последние годы характеризуется возрастающим количеством объектов со сложным геологическим строением и большой глубиной залегания. Не снижается процент пробуренных «пустых» скважин, что также обусловлено сложностью строения рудных объектов. Об этом в свое время писал К. И. Сатпаев в работе «Джезказганский меднорудный район и его минеральные ресурсы» (1932) и при создании «Металлогенической прогнозной карты Казахстана» (1950): «...запасы меди, учтенные на сегодня, еще далеко не исчерпывают всех возможностей Джезказганского рудоносного района. Я здесь не учитываю месторождения Жиландинской группы, запасы руд в них заложены очень глубоко и для их освоения нужны огромные финансы и новые технологии. Я их оставляю для будущих поколений» [5]. Да, пророчества выдающего ученого сегодня перед нами. В настоящее время осваивается Жиландинская группа (Восточная, Западная Сарыоба, Кипшакпай, Краршошак и Итауыз) месторождений и расширяется минерально-сырьевая база Центрального Казахстана.

На кафедре «Маркшейдерское дело и геодезия» Satbayev University уделяется повышенное внимание промышленной безопасности на рудниках. Отводится особая роль внедрению в практику современных технологий, средств контроля и мониторинга массива горных пород. Свидетельством этому являются проводимые нами исследования по проектам ТОО «Корпорации Казахмыс» [6-8].

Исследования геомеханических процессов проводились на отдельных рудниках и имеется опыт работы в этом направлении. Динамика развития горнодобывающего комплекса в Казахстане и в мире за минувшее столетие привела к качественно новой ситуации, когда «локальные» геомеханические поля, индуцируемые техногенной деятельностью человека, уже не являются малыми в сравнении с глобальными геодинамическими процессами тектонической активности Земли [7-9]. Следовательно, необходимо рассматривать шахты и рудники как уникальные природные лаборатории, где можно детально исследовать взаимосвязь геомеханических и геодинамических процессов с помощью горно-геофизических и спутниковыми геодезическими методами [10, 11].

Одним из таких месторождений в Центральном Казахстане является гигантское меднорудное образование Сарыоба, (Восточная и Западная), расположенное в Улытауском районе в 30-35 км к северу от рудника Жезказган. Месторождение было открыто в 1938-1940 гг. и под руководством К.И. Сатпаева на нем были проведены первые геологоразведочные работы, где в рудном поле выявлено 11 рудных залежей, в составе которых разведано 109 рудных тел. Кроме



того, они осложнены тектоническими нарушениями, что в значительной степени затрудняет их разработку.

Надежную информацию о структурных особенностях, о деформациях горных пород можно получить только с использованием инновационных методов и средств регистрации (высокоточных деформационных датчиками) НДС массива и с широким использованием современных ГИС-технологий, обеспечивающих получение 3D моделей геологических объектов и оптимальную разработку со сложно геологическим строением рудных месторождений. Особую актуальность проблема приобретает для трудно извлекаемых глубокозалегающих объектов [12,13].

Кроме того, мониторинг за изменением геомеханического и геодинамического состояния породного массива в настоящее время ведется различными ведомствами, по разным методикам и неодинаковой точностью, при которых сопоставление результатов мониторинга, их обобщение и использование становится практически невозможным. Решается эта проблема в мировой практике с использованием инновационных способов и средств регистрации геомеханических данных при натурных измерениях (например, лазерных, интерферометрических приборов, GPS-технологии и т.п.) и современных методик компьютерной обработки данных измерений с получением 3D моделей напряженно-деформированного состояния массива.

Технический уровень традиционных геодезических наблюдений при геомеханическом мониторинге не всегда отвечает требованиям горных предприятий, так как работа с ними требует много рабочего времени и нет возможности оперативного получения необходимой информации о деформационном состоянии массива горных пород. Поэтому использование современных геодезических приборов (электронных тахеометров, GPS технологий и лазерных сканеров) при геомониторинге и совершенствование методов работы с ними, считаем тесно связанными с повышением уровня инновационных направлений.

**Цель исследования** - создание пунктов геодинамического полигона и определение их местоположения в единой системе координат для проведения комплексного мониторинга на основе геодезических и инновационных технологий, позволяющего повысить точность и сократить время на производство измерительных работ.

**Методика.** В работе использован комплексный подход, включающий: изучение горно-геологических условий, структурных особенностей, физико-механических свойств горных пород месторождений и ведение инструментальных наблюдений, на основе разработанных авторами современных способов и средств мониторинга.

**Основные результаты.** В статье приведены результаты многолетних исследований сотрудников Казахского национального исследовательского технического университета имени К.И.Сатпаева (Satbaev university) по изучению геомеханических и геодинамических процессов при крупномасштабном освоении недр в сложноструктурных массивах горных пород для обеспечения их максимальной безопасности и экономической эффективности разработки месторождений.

В результате проведенных исследований созданы и внедрены в производство:

- методика ведения комплексной системы геомониторинга;
- новый метод создания геодинамического полигона в виде локальных контрольных «кустов» геодезических и нивелирных пунктов взамен протяженных линий нивелирования на территории Жиландинских групп месторождений [14];
- конструкции постоянных (наземных и подземных) пунктов принудительного центрирования, позволяющие повысить производительность и точность наблюдений [15, 16];
- способ прогнозирования физико-механических свойств пород массива [17];
- способ лазерного сканирования при изучении структурных особенностей массива горных пород [18];
- сейсмоакустический способ прогнозирования напряженно-деформированного состояния массива [19];
- способ и состав раствора из отходов горного производства для укрепления ослабленных трещиноватых участков бортов карьера и нарушенных участков подземных выработок [20-22].

- мониторинг медленных движений земной поверхности на геодинамическом полигоне с использованием GPS прибора GS16 с радиомодем, что позволило быстро и с высокой точностью определить положение пунктов в единой системе координат [23].

**Научная новизна** работы заключается в установлении закономерности изменения структурных особенностей и прочностных свойств горных пород с глубиной их залегания, что позволяет прогнозировать напряженно-деформированное состояние массива горных пород. Созданный геодинамический полигон является надежной основой для организации долговременного мониторинга деформационных процессов при крупномасштабном освоении Жиландинских групп месторождений.

Новизна разработанных способов и средств подтверждены Патентами Республики Казахстан на изобретение.

**Практическая значимость.** Результаты исследований внедрены на действующих горнодобывающих предприятиях» и использованы в учебном процессе Satbayev University, они также могут быть использованы при проектировании и эксплуатации горнодобывающих предприятий открытым, подземным и комбинированными способами для повышения уровня промышленной безопасности на рудниках и минимизации экологических рисков, вызванных освоением недр.

#### Список литературы:

1. **Викторов С.Д., Иофис М.А., Одинцев В.Н.** Разрушение горных пород и риск техногенных катастроф// Горный журнал, 2005. - №4. - С. 30-35.
2. **Козырев А.А., Панин В.И.** Изменение геодинамического режима и проявление техногенной сейсмичности при ведении крупномасштабных горных работ на апатитовых рудниках в Хибинском массиве//Проблемы геодинамической безопасности. - С-Пб:ВНИМИ, 2010. - С.66-71.
3. **Рыльникова М.В., Юн А.Б., Терентьева И.В.** Восполнение выбывающих мощностей рудников на стадии доработки балансовых запасов месторождения – условие экологически сбалансированного развития Жезказганского региона // Маркшейдерский вестник. - 2016. - № 5. - С. 6–10.
4. **Михаилова Н.Н., Узбеков А.Н.** Тектонические и техногенные землетрясения в Центральном Казахстане // Известия НАН РК. Серия геологии и технических наук. - 2018 - №3, – С. 137- 145.
5. **Сатпаев К.И.** Основные результаты комплексного геологического изучения и вопросы генезиса Джезказгана. // Геология рудных месторождений. – 1962. - № 3.
6. Отчет по Проекту «Разработка инновационных методов прогнозирования и оценки состояния массива для предупреждения чрезвычайных ситуаций техногенного характера», 2015-2017.
7. Отчет по Проекту «Комплексный мониторинг медленных деформационных процессов земной поверхности при крупномасштабном освоении рудных месторождений Центрального Казахстана». 2019-2022.
8. Отчет по Проекту «Исследование и разработка высокоэффективной методики за геотехническим состоянием массива для оценки и прогноза деформационных процессов при освоении месторождений», 2022-2023.
9. **Nurpeisova M.B., Bitimbayev M.Zh., Rysbekov K.B., and Shults R.** Geodetic substantiation of the Saryarka copper ore region, News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences, 2020, vol. 6, pp. 194–202.
10. **Кульдеев Е.И., Нурпеисова М.Б., Кыргызбаева Г.М.** Освоение недр и экологическая безопасность. — Deutschland LAP LAMBERT, 2021. - 234 pp.
11. **Kuldeev E.I., Rysbekov K.B., Donenbayeva N.S., and Mietenko N.A.** Modern methods of geotechnic – effective way of providing industrial safety in mine, Eurasian mining, 2021, no. 2, pp. 61–66.
12. **M.Nurpeisova, B.Burkhanov, S.Kulibaba. B.Myngzhassarov,** Monitoring of deformation processes of the earth surface and construction facilities in the territory of oil fields// Eurasian mining. 2021. No.2. pp. 61–66 (Scopus Q1).
13. **Bazaluk, O, Rysbekov K, Nurpeisova, M, Lozynskiy, V, Kyrgyzbayeva, G.** Integrated Monitoring for the Rock Mass State During Large-Scale Subsoil Development// Frontiers in environmental science, Том 10 Номер статьи 852591 DOI 10.3389, 2022.852591 IF5.411, Q1 SCIE Q2 CiteScore – 4,7 Percentile

14. Новый подход к созданию ГДП. Свидетельство о внесении сведений в государственный реестр прав на объекты, охраняемые авторским правом №19300 от 12 июля 2021 г. Авторы: **Кыргизбаева Г.М. и Нурпеисова М.Б.**

15. Патент РК №4701. «Наземный постоянный геодезический пункт принудительного центрирования (ППЦ) высокоточных приборов» / **Нурпеисова М.Б., Рысбеков К.Б., Доненбаева Н.С., Нукарбекова и др.** - Комитет по правам интеллектуальной собственности МЮ РК.- Астана, 12.03.2021.

16. Патент РК №4702. «Подземный пункт принудительного центрирования (ППЦ) высокоточных приборов» / **Нурпеисова М.Б., Рысбеков К.Б., Айтказинова, Доненбаева Н.С., Нукарбекова Ж. и др.** - Комитет по правам интеллектуальной собственности МЮ РК. - Астана, 12.03.2021.

17. Способ прогнозирования ФМС и НДС массива. Свидетельство о внесении сведений в государственный реестр прав на объекты, охраняемые авторским правом №19300 от 12 июля 2021 г. Авторы: **Кыргизбаева Г.М. и Нурпеисова М.Б.**

18. **Nurpeisova, M.B., Kirgizbayeva, D.M., Kopzhasaruly, K.** Innovative methods of the rock massif fractures survey and treatment of its results // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. Issue 2, 2016, Pages 11-18.

19. Патент РК № 2021/0363.1, Сейсмоакустический способ прогнозирования НДС массива» / **Нурпеисова М.Б., Битимбаев М.Ж., Рысбеков К.Б., Кыргизбаева Г.М.** Комитет по правам интеллектуальной собственности МЮ РК.- Астана, 20.05.2021 г

20. Патент РК №10-20780. Способ укрепления откоса. / **Бек А.А., Доненбаева Н.; Нурпеисова М.Б., Нукарбекова Ж.** Оpubл. от 04.04.2023

21. Патент РК№10-20781. Состав раствора для укрепления нарушенных горных массивов в подземных выработках. / **Бек А.А., Доненбаева Н., Нурпеисова М.Б., Нукарбекова Ж.** Оpubл. от 05.04.2023 г.

22. **Bek A.A., Yestemesov Z.A., Baidzhanov D.O., Fedotenko N.A.** Effective strengthening solutions for fractured rock masses using tailings//// Eurasian mining. 2022. No.1. pp. 59–64 (Scopus Q1).

23. **Нурпеисова М.Б., Кыргизбаева Г.М., Милетенко Н.А., Абенов А.М.** Мониторинг медленных движений земной коры в Центральном Казахстане // Новосибирск: Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук ИГД СО РАН. – 2022. – Т. 9. - № 3. - С.285-290.

**Климент Николаевич Трубецкой**  
**Александр Германович Красавин**

**ОТЧЕТ О ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НАУЧНОГО СОВЕТА РАН  
И КРАТКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ  
УЧРЕЖДЕНИЙ И ОРГАНИЗАЦИЙ ГОРНОГО ПРОФИЛЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ И СТРАН СНГ В 2022 ГОДУ**

*Техническое редактирование и верстка Н.А. Вдовина*

---

Подписано в печать с оригинал-макета 31.07.2022 г. Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>8</sub>. Бумага «Mega Copy Office». Печать офсетная. Набор компьютерный. Объем 20 п. л. Тираж 100 экз. Заказ № 270.

---

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова РАН  
111020, Москва, Крюковский тупик, 4.

Издание ИПКОН РАН, 111020, Москва, Крюковский тупик, 4.