

**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 2019 ГОДУ**

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

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

МОСКВА 2020

**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 2019 году. Составители: акад. К.Н.Трубецкой, канд. техн. наук А.Г.Красавин. – М.: ИПКОН РАН, 2020. – 226 с.**

Приведены сведения о деятельности Научного совета РАН по проблемам горных наук в 2019 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> .....	10
2.1..... ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ НЕДР ИМ. АКАДЕ- МИКА Н.В.МЕЛЬНИКОВА РАН (ИПКОН РАН) .....	10
2.2..... ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ ДИНАМИКИ ГЕОСФЕР ИМЕНИ АКАДЕМИКА М.А. САДОВ- СКОГО РАН (ИДГ РАН) .....	14
2.3..... ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА ДВО РАН (ИГД ДВО РАН) .....	25
2.4..... ИНСТИТУТ УГЛЯ ФЕДЕРАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЦЕНТРА УГЛЯ И УГЛЕХИМИИ СО РАН (ИУ СО РАН).....	31
2.5..... ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА СЕВЕРА ИМ. Н.В.ЧЕРСКОГО СО РАН (ИГДС СО РАН) .....	53
2.6..... ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ, ЭКОЛОГИИ И КРИОЛОГИИ СО РАН (ИПРЭК СО РАН).....	61
2.7..... ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА УрО РАН (ИГД УрО РАН) .....	67
2.8..... ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ПЕРМСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР УРО РАН. ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ УрО РАН (ГИ УрО РАН) .....	78
2.9..... ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ КНЦ РАН (ГoИ КНЦ РАН).....	90
2.10... ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКОЛОГИИ СЕВЕРА КНЦ РАН (ИППЭС КНЦ РАН) .....	95
2.11... ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ВСЕРОССИЙСКИЙ ИНСТИТУТ НАУЧНОЙ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМА- ЦИИ РАН (ВИНИТИ РАН) .....	97
2.12... ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ ДВО РАН .....	100
2.13... ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ, ПЕТРОГРАФИИ, МИНЕРАЛОГИИ И ГЕОХИМИИ РАН .....	102
2.14... ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ «ИНСТИТУТ ГОР- НОЙ МЕХАНИКИ И ГЕОФИЗИКИ – МЕЖОТРАСЛЕВОЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР ГЕОМЕХ» .....	105
2.15... НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ «МЕХАНОБР-ТЕХНИКА» (ОАО) .....	112
2.16... ИНСТИТУТ «ЯКУТНИПРОАЛМАЗ».....	122
2.17... ООО «ИНСТИТУТ ГИПРОНИКЕЛЬ» .....	132
2.18... КОМПАНИЯ АО «ВИСТ ГРУПП» (ВХОДИТ В ГК «ЦИФРА»).....	137

2.19... ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ НИТУ «МИСиС» .....	142
2.20... РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ СЕРГО ОРДЖОНИКИДЗЕ .....	146
2.21... САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ .....	149
2.22... ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (ДФУ) .....	158
2.23... ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ТУЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» (ТулГУ) .....	160
2.24... ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» (УГГУ) .....	165
2.25... ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ЮГО-ЗАПАДНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» .....	169
2.26... ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «МАГНИТОГОРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Г.И.НОСОВА» ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА И ТРАНСПОРТА .....	175
2.27... ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «СЕВЕРОКАВКАЗСКИЙ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ» (ГТУ) .....	177
2.28... ИНСТИТУТ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ .....	184
2.29... КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. К.И. САТПАЕВА .....	188
2.30... ФИЛИАЛ РГП «НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР ПО КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКЕ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН» «ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА ИМ. Д.А.КУНАЕВА» .....	200
2.31... ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ КАЗАХСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ИМ. К.И.САТПАЕВА .....	205
2.32... КАРАГАНДИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ .....	207
2.33... ИНСТИТУТ ГЕОМЕХАНИКИ И ОСВОЕНИЯ НЕДР НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ .....	214
2.34... РЕСПУБЛИКАНСКИЙ АКАДЕМИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ И ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСКИЙ ИНСТИТУТ ГОРНОЙ ГЕОЛОГИИ, ГЕОМЕХАНИКИ, ГЕОФИЗИКИ И МАРКШЕЙДЕРСКОГО ДЕЛА МИНИСТЕРСТВА ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ .....	217
2.35... ООО «ГЕОСЕРВИС» (РЕСПУБЛИКА АРМЕНИЯ) .....	218



## I. ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ НАУЧНОГО СОВЕТА

**Научный совет РАН по проблемам горных наук.** 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 2008г. № 13000/5-57, 09 сентября 2008г. № 13000/9-88, 17 ноября 2009г. № 13000/8-103, 06 сентября 2011г. №13000/7-88, 23 января 2015г. №13000/1-6, 27 февраля 2018г. № 13000/2-5 и 19 февраля 2019г. № 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, 7 членов-корреспондентов РАН, представители ведущих вузов и отраслевых институтов: всего 30 специалистов горного и геологического профиля.

*Состав Научного совета РАН по проблемам горных наук – Члены Бюро – Трубецкой К.Н.,* акад. РАН, *председатель,* советник РАН, **Каплунов Д.Р.,** чл.-корр. РАН, гл. науч. сотр. ИПКОН им. академика Н.В.Мельникова РАН, *заместитель председателя,* **Красавин А.Г.** канд. техн. наук, ст. науч. сотр. ИПКОН им. академика Н.В.Мельникова РАН, *ученый секретарь,* **Арский Ю.М.,** акад. РАН, **Барях А.А.,** чл.-корр. РАН, Горный институт УрО РАН, **Бортников Н.С.,** акад. РАН, Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, **Вайсберг Л.А.,** акад. РАН, АО «Механообр-техника», **Захаров В.Н.,** чл.-корр. РАН, ИПКОН им. академика Н.В.Мельникова РАН, **Клишин В.И.,** чл.-корр. РАН, Институт угля ФИЦ УУХ СО РАН, **Корнилков С.В.,** докт.техн.наук, Институт горного дела УрО РАН, **Косьянов В.А.,** докт. техн. наук, Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, **Краснянский Г.Л.,** докт. экон. наук, Международный институт энергетической политики и дипломатии МГИМО МИД России, **Литвиненко В.С.,** докт. техн. наук, Санкт-Петербургский горный университет, **Лукичев С.В.,** докт. техн. наук, Горный институт Кольского научного центра РАН, **Малышев Ю.Н.,** акад. РАН, Геологический музей им. В.И.Вернадского РАН, **Рассказов И.Ю.,** докт. техн. наук, Институт горного дела ДВО РАН, **Чантурия В.А.,** акад. РАН, гл. науч. сотр. ИПКОН им. академика Н.В.Мельникова РАН, **Черникова А.А.,** докт. экон. наук, НИТУ «МИСиС», **Яковлев Д.В.,** докт. техн. наук, Межотраслевой научный центр ВНИМИ; *члены Научного совета:* **Бунин Ж.В.,** докт. техн. наук, Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, **Викторов С.Д.,** докт. техн. наук, ИПКОН им. академика Н.В. Мельникова РАН, **Владимиров Д.Я.,** канд. техн. наук, АО «ВИСТ Групп», **Калабин Г.В.,** докт. техн. наук, ИПКОН им. академика Н.В.Мельникова РАН, **Клебанов А.Ф.,** канд. техн. наук, АО «ВИСТ Групп», **Кондратенко А.С.,** канд. техн. наук, Институт горного дела им. Н.А.Чинакала СО РАН, **Курленя М.В.,** акад. РАН, Институт горного дела им. Н.А.Чинакала СО РАН, **Мясков А.В.,** докт. экон. наук, Горный институт НИТУ «МИСиС», **Опарин В.Н.,** чл.-корр. РАН, Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН, **Пучков Л.А.,** чл.-корр. РАН, Центр стратегических исследований НИТУ «МИСиС», **Яковлев В.Л.,** чл.-корр. РАН, Институт горного дела УрО РАН.

По традиции Научный совет РАН по проблемам горных наук был одним из организаторов и активным участником проведения совместно с Горным институтом НИТУ «МИСиС» 28 января – 01 февраля 2019г. в г. Москве XXVII Международного научного симпозиума «Неделя горняка – 2019», посвященного 100-летию со дня рождения В.В.Ржевского. В организационный комитет научного симпозиума «Неделя горняка – 2019» вошли члены Научного совета РАН по проблемам горных наук: председатель Научного совета РАН по проблемам горных наук акад. РАН *К.Н.Трубецкой,* чл.-корр. РАН *В.Н.Захаров,* чл.-корр. РАН *Д.Р.Каплунов,* акад. РАН *Л.А.Вайсберг,* акад. РАН *Ю.Н.Малышев,* чл.-корр. РАН *Л.А.Пучков,*

акад. РАН *В.А.Чантурия*, проф., д.т.н. *С.Д.Викторов*, докт.экон.наук *А.А.Черникова*, докт.экон.наук *А.В.Мясков*, проф., докт.экон.наук *Г.Л.Краснянский*, канд.техн.наук *А.Г.Красавин*.

С докладами на пленарном заседании научного симпозиума «Неделя горняка – 2019» выступили:

– **Трубецкой Климент Николаевич**, советник Президиума РАН, председатель Научного совета РАН по проблемам горных наук.

– **Черникова Алевтина Анатольевна**, ректор НИТУ «МИСиС», Приветственное слово. «Открываем новый век».

– **Боровская Марина Александровна**, заместитель Министра науки и высшего образования Российской Федерации, Приветственное слово.

– **Яновский Анатолий Борисович**, заместитель Министра энергетики Российской Федерации, Приветственное слово.

– **Евтухов Виктор Леонидович**, статс-секретарь – заместитель Министра промышленности и торговли Российской Федерации, «Государственная политика в сфере обращения с техногенными отходами».

– **Квинт Владимир Львович**, руководитель Центра стратегических исследований Института математических исследований сложных систем МГУ им. М.В. Ломоносова, академик – иностранный член РАН, «Стратегия развития промышленных производств».

– **Сиземов Дмитрий Николаевич**, директор по информационным технологиям АО «СУЭК», «Комплексная цифровизация горного производства – взгляд СУЭК».

I. В рамках программы научного симпозиума 01 февраля 2019 года под руководством председателя Научного совета РАН по проблемам горных наук академика РАН **К.Н.Трубецкого** было проведено заседание Научного совета РАН по проблемам горных наук с участием ведущих специалистов Горного института НИТУ «МИСиС» и ряда отечественных и зарубежных представителей организаций горного профиля.

На заседании Научного совета РАН по проблемам горных наук был заслушан и обсужден доклад заместителя директора Горного института НИТУ «МИСиС» канд. техн. наук **Василия Владимировича Ческидова** (Горный институт НИТУ «МИСиС») на тему: «*Современные подходы в создании цифровых моделей объектов и процессов горного производства*».

Цифровые технологии в начале XXI века стали неотъемлемой частью любого производства. В сфере освоения недр все шире используются, в том числе трехмерные, модели месторождений, производственных систем и процессов.

Современные технологии в области информатизации и автоматизации в горном деле – это новый инструментарий, применение которого бесспорно позволит:

- значительно усовершенствовать подходы в анализе и оценке состояния объектов горнопромышленных природно-технических систем, сборе, передаче и хранении данных;
- повысить качество проектирования горнотехнических систем и планирования добычных работ на основе многовариантного анализа;
- оптимизировать производственные процессы на базе цифрового двойника для улучшения технологических, экономических и экологических параметров.

Основной задачей при внедрении цифровых технологий является создание цифровых двойников и систем искусственного интеллекта, которые будут способны принимать оптимальные управленческие решения в режиме реального времени, однако для их разработки требуется формирование Больших данных (Big Data), на основе которых будет осуществляться процесс обучения. Основными источниками для пополнения баз данных должны стать: информация, получаемая в результате оцифровки и систематизации имеющихся бумажных носителей; данные получаемые в результате мониторинга состояния и параметров производственных объектов; данные моделирования технологических процессов и систем; информация, получаемая в результате научной и производственной деятельности. Использование Big Data обуславливает переход на новый математический аппарат, который опирается на неаналитические методы (например, нейронные сети), работающие по принципу «черного ящика», однако при выполнении прогнозных расчетов позволяют учитывать большее количество факторов, влияющих на состояние горнотехнических систем и объектов производства.

При этом мониторинг состояния объектов или их отдельных элементов в конечном итоге должен стать своеобразным регулятором, функционирующим на принципах обратной отрицательной связи. То есть, результаты работы систем искусственного интеллекта или прогнозирования, полученного на основе цифрового двойника должны постоянно сопоставляться с реальным режимом функционирования производственной системы и осуществляться соответствующая корректировка.

Одним из главных вызовов, с которым сегодня сталкиваются при внедрении цифровых технологий в горной отрасли – это отсутствие формализованного описания объектов, элементов горнотехнических систем и процессов их взаимодействия. От успешности решения данной проблемы во многом зависит успешность и срок внедрения систем искусственного интеллекта и комплексной информатизации в целом. На большинстве горнодобывающих предприятий сегодня уже внедрен ряд программных продуктов и автоматизированных систем сбора данных или управления, однако все они разрознены и в большинстве случаев избыточны, кроме того, современное состояние данного вопроса не позволяет в полной мере анализировать накапливаемую информацию, так как она слабо структурирована.

Стратегической задачей государственного уровня сегодня в области цифровизации горно-геологического сектора является разработка отечественных программных продуктов, в том числе горно-геологических информационных систем, которые обеспечат конфиденциальность информации и минимизируют вероятность ее утечки внутренним и внешним конкурентам.

По докладу были заданы вопросы акад. К.Н.Трубецким, проф., д.т.н. В.Е.Зайденваргом, проф., д.т.н. С.Д.Викторовым, чл.-корр. РАН В.Н.Захаровым, чл.-корр. РАН А.А.Баряхом, чл.-корр. РАН Д.Р.Каплуновым, проф., д.т.н. А.А.Еременко, проф. РАН, д.т.н. В.А.Еременко.

По докладу выступили проф., д.т.н. С.Д.Викторов, чл.-корр. РАН В.Н.Захаров, чл.-корр. РАН Д.Р.Каплунов, проф. РАН, д.т.н. В.А.Еременко, акад. К.Н.Трубецкой.

На заседании Научного совета РАН по проблемам горных наук было выработано решение, которое сводилось к следующему:

Заслушав и обсудив доклад заместителя директора Горного института НИТУ «МИСиС» канд. техн. наук **Василия Владимировича Ческидова** на тему: *«Современные подходы в создании цифровых моделей объектов и процессов горного производства»* было отмечено, что выполненные исследования являются важными и перспективными.

Был сделан вывод о том, что на современном этапе надо делать шаг в освоении новых технологий, а цифровизация процессов горного производства позволит решить многие технологические задачи.

Рекомендовано продолжить работу по внедрению результатов выполненных исследований.

Участники заседания в целом одобрили основные положения представленного доклада, отметили его актуальность и рекомендовали автору продолжить научно-исследовательскую работу в данной области и пожелали успехов в выполнении дальнейших исследований.

**II.** Министерство образования и науки Российской Федерации, Российская академия наук, Отделение наук о Земле, Научный совет РАН по проблемам горных наук, Научный совет РАН по проблемам обогащения полезных ископаемых, Российский фонд фундаментальных исследований, Институт проблем комплексного освоения недр РАН им. академика Н.В.Мельникова, Совет молодых ученых и специалистов провели 14 Международную научную школу молодых ученых и специалистов «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых».

Конференция состоялась 28 октября – 01 ноября 2019 года в г. Москве на базе Института проблем комплексного освоения недр РАН им. академика Н.В.Мельникова. В работе приняли участие представители академических и отраслевых институтов, ВУЗов, горно-обогатительных предприятий России, Казахстана, Китая, Кыргызстана, Донецкой Народной Республики и США. В их числе ИПКОН РАН (г. Москва), НИТУ МИСиС (г. Москва), Санкт-Петербургский горный университет, ЗабГУ (г. Чита), МГТУ им. Г.И. Носова (г. Магнитогорск), Российский университет дружбы народов (г. Москва), Национальный научно-исследовательский университет «Высшая школа экономики», ИГД им. Д.А. Кунаева (Алматы, Казахстан), КазНУ им. альФараби (Алматы, Казахстан), УрФУ (г. Екатеринбург), РАНИМИ

(г. Донецк, ДНР), ПАО «Газпром ООО Газпромтехнологии» (г. Москва), ГоИ КНЦ РАН (г. Апатиты), «Московский государственный университет геодезии и картографии», Российский Государственный Геологоразведочный Университет (г. Москва), «Монмаг» (Монголия) и др., представители научнотехнических журналов и изданий – «Маркшейдерский вестник», «Маркшейдерия и недропользование» и др.

В работе школы приняли участие более 200 человек. На конференции представлено 102 доклада 180 авторов из них заслушано 61 доклад, из них 9 – пленарных.

Участники осветили последние достижения в области теории и технологии комплексного освоения недр Земли. Были представлены результаты новых исследований по таким направлениям, как проблемы геомеханики и разрушения горных пород, геология месторождений твердых полезных ископаемых, совершенствование техники и технологии освоения месторождений полезных ископаемых, управление производством, экономические и социальные проблемы освоения недр, обогащение полезных ископаемых, техника безопасности и охрана окружающей среды. Конференция отметила, что в представленных докладах содержатся современные теоретические и практические подходы к решению указанных проблем, основанные на крупных исследованиях, выполненных за последние годы научными коллективами. Основная часть докладов была заслушана на четырех специализированных секциях.

Было выработано решение конференции, которое сводилось к следующему:

1. Продолжить развитие фундаментальных и прикладных исследований по приоритетным направлениям комплексного освоения и сохранения недр Земли.

2. Расширить сотрудничество Совета молодых ученых и специалистов ИПКОН РАН с молодыми учеными России, ДНР, Казахстана, Монголии, США, Кот-д'Ивуара, Киргизии, КНР.

3. Наиболее интересные доклады, отмеченные по результатам работы секций, опубликовать в виде статей в журналах Маркшейдерия и недропользование, Маркшейдерский вестник, Горный журнал Казахстана и других журналах горно-обогатительного профиля.

4. Обратиться с просьбой к редакции журнала «Маркшейдерия и недропользование», «Маркшейдерский вестник» в период подготовки к очередной научной школе продолжить на страницах журнала рубрику «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых».

5. Провести 15 Международную научную школу молодых ученых и специалистов в октябре-ноябре 2020 г.

6. Отметить высокий уровень подготовки и проведения конференции и вынести благодарность ее организаторам, а также организациям, оказавшим финансовую и информационную поддержку, в том числе – Российскому фонду фундаментальных исследований, редакциям научно-технических и производственных журналов – «Маркшейдерия и недропользование», Маркшейдерский вестник».

В соответствии с объявлением Российской академии наук от 26 апреля 2019 года о проведении выборов академиков РАН и членов-корреспондентов РАН научными организациями, образовательными организациями высшего образования, научными советами РАН и членами РАН, Общим собранием членов РАН 14-15 ноября 2019 года, согласно Уставу РАН, академиками и членами-корреспондентами РАН были избраны следующие члены Научного совета РАН по проблемам горных наук:

– академиком РАН – *Барях Александр Абрамович* по специальности «горные науки»;

– членом-корреспондентом РАН – *Рассказов Игорь Юрьевич* по специальности «горные науки».

**В целях укрепления научного и образовательного сотрудничества, обмена информацией и рекламы достижений институтов:**

1. В 2019 году Научным советом РАН по проблемам горных наук был подготовлен и опубликован *Отчет о научной деятельности Научного совета РАН по проблемам горных наук и краткие результаты научно-исследовательских работ учреждений и организаций горного профиля РФ и стран СНГ в 2018 году*, в который были включены краткие важнейшие результаты научно-исследовательских работ **13-ти НИИ РАН, 5-ти 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)** в области горных наук. Отчеты были разосланы в 2019 г. почтой во все организации, предоставившие важнейшие результаты своих научно-исследовательских работ, проведенных в 2018 году.

2. Председатель Научного совета РАН по проблемам горных наук акад. РАН К.Н.Трубецкой 18 декабря 2019 г. выступил с докладом **«Состояние и основные направления освоения ресурсов земных недр»** на академических чтениях по приоритетам, направлениям Наук о Земле РАН в Российском государственном геологоразведочном университете им. Серго Орджоникидзе (РГГРУ-МГРИ).

## II. РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

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

#### *Важнейшие результаты по базовому бюджетному финансированию*

##### *Теория проектирования освоения недр*

Разработка методических основ устойчивого развития горнотехнических систем на базе установления закономерностей взаимодействия природных и инновационных технологических процессов в условиях интенсивного комплексного освоения недр Земли

Номер темы по базовому бюджетному финансированию 0138-2014-00050

Авторы: чл.-корр. РАН Каплунов Д.Р., проф., д.т.н. Рыльникова М.В.,  
к.т.н. Радченко Д.Н., д.т.н. Федотенко В.С.

Безопасное эффективное освоение месторождений многокомпонентных руд требует при подземной и комбинированной разработке количественного учета взаимовлияния параметров геомеханических и физико-химических процессов в обрабатываемых массивах горных пород, обуславливающих нарастающие изменения их структурных особенностей в части развития трещиноватости и окислительных процессов, а также активации аэродинамических связей в горнотехнических конструкциях.

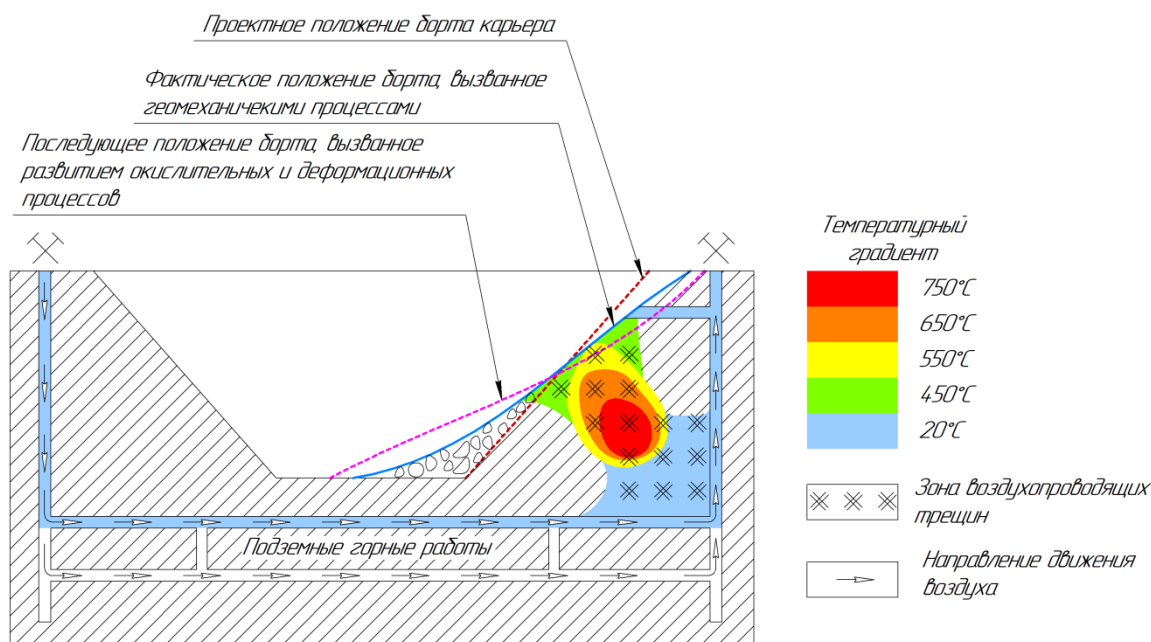


Рисунок 1

При комбинированной разработке медно-колчеданных месторождений и совместном развитии деформационных и окислительных процессов, активизирующих друг друга, площадь зоны отвода тепла в горном массиве за контуром карьера по высоте примерно равна площади сечения эквивалентного отверстия проскока воздуха по системам трещин, после которого формируется переходная зона интенсивного нагрева с температурой сульфидов 250-490<sup>0</sup>С, однако, большую часть объема зоны окисления занимает очаг горения с температурой 560-750<sup>0</sup>С. Фазовые переходы сульфидных минералов при таких температурах определяют рост пустотности и нарастающую интенсивность деформирования горного массива.

1. Каплунов Д.Р., Рьльникова М.В. Перспективные направления развития комбинированной геотехнологии в свете совершенствования технологического уклада горного производства. // Известия Тульского государственного университета «Науки о Земле». // Издательство ТулГУ. – 2019. – № 3. – С. 7-21. РФФИ 18-05-00114

2. Айнбиндер И.И., Каплунов Д.Р. Риск – ориентированный подход к выбору геотехнологий подземной разработки месторождений на больших глубинах. // Горный информационно – аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2019. – № 4. – С. 5-19. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-04-0-5-19. SCOPUS

3. Каплунов Д.Р. Комбинированная геотехнология как основа перехода к новому технологическому укладу недропользования. // Сборник статей по результатам Международной конференции. – Магнитогорск: МГТУ. – 2019. – С. 14-20.

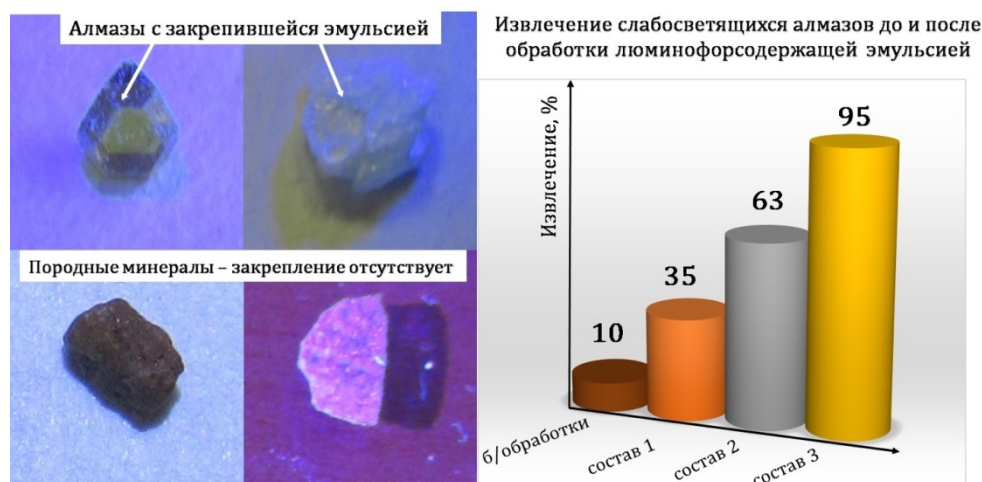
### **Физико-химическая геотехнология**

#### **Развитие теории комплексного извлечения ценных компонентов и глубокой переработки труднообогатимых руд и нетрадиционного минерального сырья**

Номер темы по базовому бюджетному финансированию 0138-2014-0002

Авторы: академик Чантурия В.А., д.т.н. Двойченкова Г.П., Ковальчук О.Е.,  
к.т.н. Подкаменный Ю.А.

**Научно и экспериментально обоснован способ и вскрыт механизм модификации люминесцентных характеристик алмазов для активации слаболюминесцирующих и нелюминесцирующих кристаллов, выявлены составы эффективных люминофорсодержащих композиций, селективно закрепляющихся на поверхности алмазов, что обеспечивает снижение их потерь в действующих схемах РЛС.**



**Рисунок 2**

В кимберлитовых рудах содержится от 5 до 10 % несветящихся алмазов, которые теряются с хвостами рентгенолюминесцентной сепарации (РЛС). Научно обоснована возможность повышения светимости алмазов за счет закрепления на поверхности кристаллов люминесцирующих веществ (люминофоров). Для селективного закрепления люминофоров на поверхности алмазов были разработаны композиции люминофорсодержащих эмульсий, адаптированных к реальным условиям РЛС. Реализация данной идеи в способе повышения светимости алмазов позволит снизить потери несветящихся алмазных кристаллов.

1. Чантурия В.А., Двойченкова Г.П., Морозов В.В., Яковлев В.Н., Ковальчук О.Е., Подкаменный Ю.А. Экспериментальное обоснование состава люминофорсодержащих композиций для извлечения нелюминесцирующих алмазов. // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2019. – № 1. – С.128 – 136.

Переводная версия статьи (Web of Science): Chanturia, V.A., Dvoichenkova, G.P., Morozov, V.V. et al. J Min Sci (2019) 55: 116. <https://doi.org/10.1134/S106273911901536X>.



2. Чантурия В.А., Двойченкова Г.П., Морозов В.В., Ковальчук О.Е., Подкаменный Ю.А., Яковлев В.Н. Экспериментальное обоснование состава люминофоров для индикации алмазов в условиях рентгенолюминесцентной сепарации кимберлитовых руд. // Физико – технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2018. – № 3. – С.112 – 120. DOI: 10.15372/FTPRI20180311. Переводная версия статьи (Web of Science): Chanturia, V.A., Dvoichenkova, G.P., Morozov, V.V. et al. J Min Sci (2018) 54: 458. <https://doi.org/10.1134/S1062739118033858>

### Геомеханика

#### Исследование тектонической нарушенности и проницаемости угля с использованием мультифрактального анализа изображений поверхности образцов угля

Грант РФФИ 19-05-00824

Авторы: д.т.н. Ульянова Е.В., д.т.н. Малинникова О.Н., Пашичев Б.Н., Долгова М.О.

Научно обоснована и количественно установлена оценка степени нарушенности углей с использованием диаграммы «энтропия-сложность», основанной на шварц-преобразовании данных, определенных по цифровым изображениям поверхности углей, полученным сканирующим электронным микроскопом при тысячекратном увеличении, что даёт информацию о размерах отдельных зёрен угля с характерным размером около одного микрона (рисунок 3).

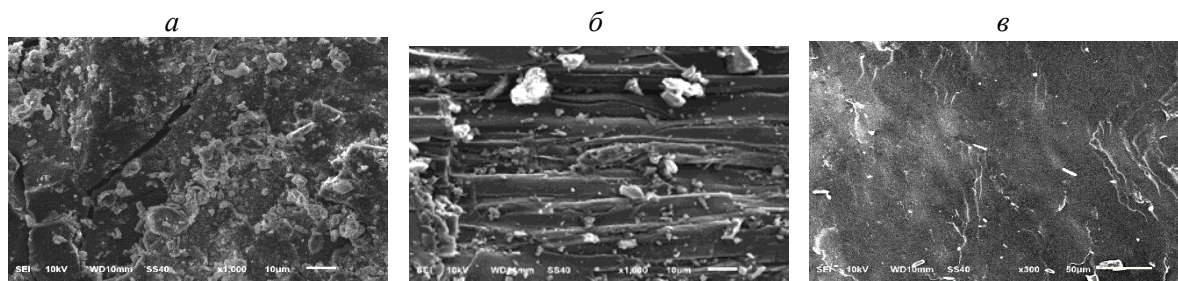


Рисунок 3 – Цифровые изображения поверхности образцов углей из: (а) – неопасной области пласта, (б) – выбросоопасной зоны, (в) – из выброшенного угля

Энтропия (информационная) является мерой структурной неорганизованности системы. Статистическая сложность определена на основе расхождения Йенсена-Шеннона между наблюдаемым и равновероятным распределением коэффициентов шварц-преобразования обрабатываемого изображения.

Оценка степени пространственной упорядоченности элементов угольной структуры в системе координат «энтропия – сложность» (рисунок 4), проведенная по цифровым изображениям поверхности углей показала, что структура угля неопасной области является наиболее упорядоченной с значениями энтропии 0,67–0,78, а выбросоопасная зона пласта, характеризуется сочетанием как упорядоченных областей, так и хаотично расположенных элементов (значения энтропии для упорядоченных элементов 0,67–0,78 отн. ед., для хаотичных элементов 0,86 – 0,94 отн. ед.).

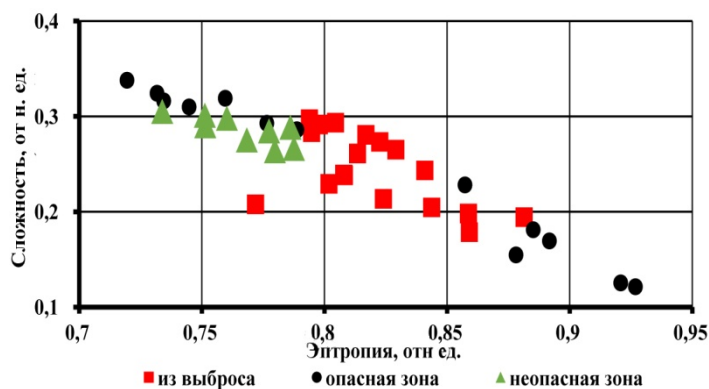


Рисунок 4 – Значения сложности и энтропии цифровых изображений поверхности углей из выброса и из опасной и неопасной по выбросам зон пласта

Ульянова Е.В., Малинникова О.Н., Пашичев Б.Н., Малинникова Е.В. Микроструктура ископаемых углей до и после газодинамических явлений. // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2019. – №5. – С. 10–17.



## Разрушение горных пород

Развитие теории разрушения горного массива и геомеханического обоснования инновационных технологий ведения горных работ на глубоких карьерах и рудниках при комплексном освоении недр

Норме темы по базовому бюджетному финансированию 0138-2014-0003, 0138-2014-0016, 0138-2019—0003, номер гос. регистрации: 01201354607

Авторы: проф., д.т.н. С.Д. Викторов, д.т.н. В.М. Закалинский, к.т.н. А.А. Осокин, Р.Я. Мингазов, Е.В. Красюкова

Установлено влияние конструктивных параметров взрывных работ на причинно-следственные связи технологий и среды при решении проблемы устойчивости горного массива в сложных горно-геологических условиях разработки полезных ископаемых открытым и подземным способом. Разработана новая конструкция скважинных зарядов, механизм действия взрыва которой рассчитан на создание предохранительной зоны трещиноватости защищающей, от воздействия взрыва нижележащие горные выработки (рисунок 5).

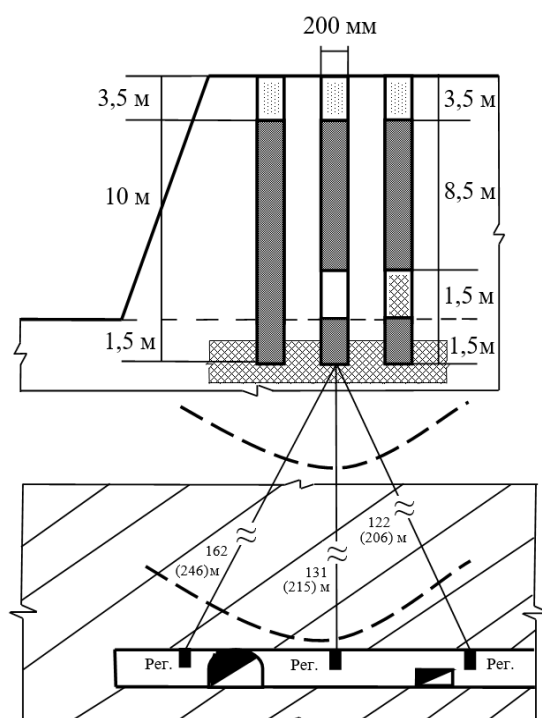


Рисунок 5. Конструкция скважинного заряда и его реализация при комбинированной технологии добычи полезных ископаемых

Анализ экспериментальных данных регистрации сейсмических сигналов взрыва разработанной модели разрушения массива горных пород показал, что амплитуда регистрируемых сигналов в диапазоне 30-200 Гц уменьшилась на 30 % в сравнении с контрольным взрыванием. Наблюдается смещение спектра несущей частоты упругих колебаний в область низких частот до 17% в зависимости от компоненты, что свидетельствует о гашении распространения высокочастотной энергии основного заряда в глубь массива и сохранении расположенных в нем выработок.

1. Viktorov S., Zakalinsky V., Shipovskii I., Mingazov R. About Interaction of Blasting and Geomechanical Processes in Mining. In: Kocharyan G., Lyakhov A. (eds) Trigger Effects in Geosystems. Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. Springer, Cham. pp 417-425. (2019). doi: 10.1007/978-3-030-31970-0\_44.

2. Викторов С.Д., Закалинский В.М., Шиповский И.Е., Мингазов Р.Я. Концепция синергетического взаимодействия процессов взрывного разрушения и геомеханики при разработке месторождений полезных ископаемых. //Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 3. – С. 113-124.

3. Викторов С.Д., Иофис М.А., Гончаров С.А., Закалинский В.М. Механика сдвижения и разрушения горных пород. / Отв. ред. акад. РАН К.Н. Трубецкой – М.: Наука, 2019. – 363 с.

4. Викторов С.Д., Захаров В.Н., Закалинский В.М. Снижение сейсмического воздействия массовых взрывов в карьере на устойчивость породного массива и подземных сооружений при комбинированной разработке угольных месторождений. // Горный журнал. – 2016. – № 12. – С. 59-64.

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

В 2019 г. научно-исследовательские работы горной направленности велись в ИДГ РАН по следующим темам государственного задания:

- Разработка методологии прогноза последствий изменения режимов деформирования потенциально опасных участков земной коры (разломы, трещины, подземные сооружения и т.д.) при эндогенных и экзогенных воздействиях.

- Определение интенсивности сейсмического действия крупных техногенных источников (например, карьерных взрывов) на территории России. Классификация территории Центральной части России по степени сейсмического риска на основе данных о расположении техногенных сейсмических источников.

- Разработка методов сейсмического мониторинга районов расположения особо ответственных объектов на этапах их проектирования, строительства и эксплуатации на базе проведения режимных наблюдений на площадках строящихся АЭС. Локальный сейсмический мониторинг с целью прогнозирования возникновения катастрофических процессов на объекте.

- Решение задач геодинамической безопасности флюидных систем земной коры, включая области шельфа.

При поддержке РНФ, РФФИ, грантов Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых ученых проводились работы по темам:

- Разработка новых принципов снижения риска возникновения сильных техногенных землетрясений и изучение антропогенного влияния на сейсмичность в платформенных районах.

- Определение возможности использования результатов регистрации параметров низкочастотного сейсмического фона для оценки напряженно-деформированного состояния разломной зоны.

- Релаксация избыточных напряжений в областях структурных нарушений массивов горных пород.

- Механизм деформирования флюидонасыщенного коллектора при сейсмическом воздействии по данным прецизионного мониторинга уровня подземных вод.

- Геомеханика процесса скольжения по разломам в массиве горных пород зарождение, распространение и остановка разрыва.

- Трансформация режима скольжения по модельному разлому при внешнем воздействии.

- Определение структурных и механических характеристик нарушений сплошности массивов горных пород по результатам анализа параметров сейсмоакустических колебаний.

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

Ниже кратко изложены результаты исследований по проблеме «**Инициирование тектонических землетрясений горными работами**».

## Аннотация

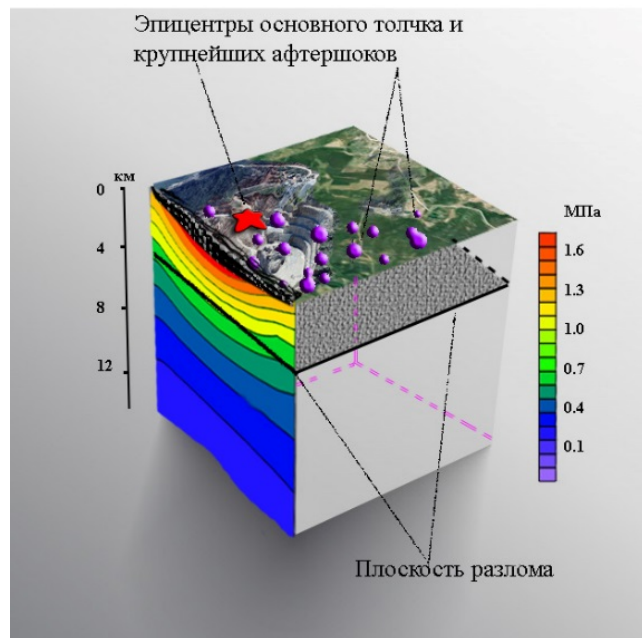
На примере крупнейшего в истории сейсмического события, связанного с горными работами Бачатского землетрясения 18.06.2013 г. ( $M_L=6.1$ ), произошедшего в Кузбассе, исследован возможный механизм инициирования крупных тектонических землетрясений. В качестве вероятных триггеров рассмотрены общая техногенная нагрузка на регион, воздействие сейсмических колебаний от взрывов, выемка и перемещение больших объемов породы, изменение флюидодинамического режима.

Выполненные расчеты показали, что основным триггером землетрясения явились выемка и перемещение горной массы. На основе данных инструментальных наблюдений установлено, что непосредственное инициирование крупных землетрясений сейсмическими колебаниями от массовых взрывов крайне маловероятно.

Установлено, что открытые горные работы в карьерах способны лишь приблизить момент землетрясения на потенциально сейсмоактивном разломе. В тоже время подземная отработка месторождений, изменяя упругие свойства вмещающего массива в окрестности тектонического разлома, способна спровоцировать небольшое землетрясение с  $M \sim 3-4$  даже на ранее асейсмичном участке.

Полученные результаты могут иметь важное практическое значение при оптимизации технологии безопасного ведения горных работ.

*Изолинии вариаций кулоновских напряжений на площадках, параллельных вероятному расположению плоскости разломной зоны под карьером «Бачатский». Положительные изменения функционала означают приближение момента возникновения динамической неустойчивости. Красный значок – эпицентр основного толчка 18.06.2013 г., фиолетовые – крупнейших афтершоков.*



## 1. Введение

Одним из распространенных следствий горных работ является техногенная сейсмичность. Возникновение слабых землетрясений в результате инженерной деятельности является обычным для многих площадок, и это часто не вызывает большого интереса до тех пор, пока не происходит землетрясение значительной магнитуды.

В горном деле техногенные землетрясения чаще всего ассоциируются с подземными горными работами, проводящимися на больших глубинах в массивах со значительной тектонической составляющей поля напряжений. Очаговые области крупных событий либо связаны с обрушением больших площадей, вследствие разрушения целиков и породы в окрестности выработок, либо представляют собой подвижки по разломам и тектоническим трещинам. В последнем случае источники сильных событий могут располагаться не только в окрестности выработок, но и на значительном удалении от шахты или карьера, и на довольно большой глубине до 5–10 км.

Землетрясения, ассоциированные с выемкой породы в карьерах, относятся к категории довольно редких проявлений техногенной сейсмичности. Тем не менее, самое крупное сейс-

мическое событие, инициированное горными работами, связано именно с добычей угля открытым способом. Это землетрясение с магнитудой  $M_L=6.1$ , названное «Бачатское», произошло в Кузбассе 18.06.2013 г., в непосредственной окрестности Бачатского угольного разреза [1].

Далее мы будем исходить из того, что излучение сейсмических волн при землетрясении значительной магнитуды ( $E_s > 10^9$  Дж;  $M > 2.5$ ) происходит в результате динамического перемещения вдоль существующего тектонического разлома.

Рассмотрим, в какой мере горные работы в приповерхностных областях коры способны стать причиной крупного землетрясения, и какие именно процессы могут оказаться наиболее вероятным триггером динамического выделения части энергии деформации, накопленной в массиве горных пород.

В качестве основных причин инициирования крупных техногенных землетрясений при ведении горных работ обычно выделяют регулярное воздействие на горный массив массовых взрывов, изменение параметров поля напряжений вследствие выемки и перемещения горной породы, изменение гидрогеологического режима региона из-за откачки воды и/или затопления выработанных объемов [2, 3]. Рассмотрим их по порядку.

## 2. Регулярное техногенное воздействие на массив горных пород

Анализ вариации во времени объемов добычи и суммарного расхода ВВ в Кузбассе (рисунок 1) демонстрирует очевидную пропорциональность объема добычи и суммарного расхода ВВ (энергии взрывов), так что разделить действие квазистатических (*разрушение массива и выемка породы*) и динамических (*сейсмические колебания от массовых взрывов, вибрации от работы машин и механизмов*) инициирующих факторов только путем анализа статистических сведений о сейсмических событиях не представляется возможным. На этом же графике приведены крупнейшие землетрясения региона. Легко убедиться, что сильные сейсмические события происходили и происходят при разном уровне техногенного воздействия.

Рисунок 2 демонстрирует, что общая техногенная нагрузка на верхнюю часть коры не оказывает очевидного влияния на процесс инициирования крупных землетрясений: ни один из рядов данных, описывающих величину излученной при землетрясениях сейсмической энергии (значки 1-4 на рисунке 2) не обнаруживает корреляции с величиной расхода ВВ (линия 5 на рисунке 2). Более того, имея в виду, что ошибка в определении магнитуды  $\Delta m = \pm 0.3$  дает разброс в энергии примерно на порядок, вариации годового значения излученной землетрясениями энергии в 1998–2018 гг. – исключая Бачатское землетрясение 2013 года – укладываются в пределы погрешности определения магнитуды.

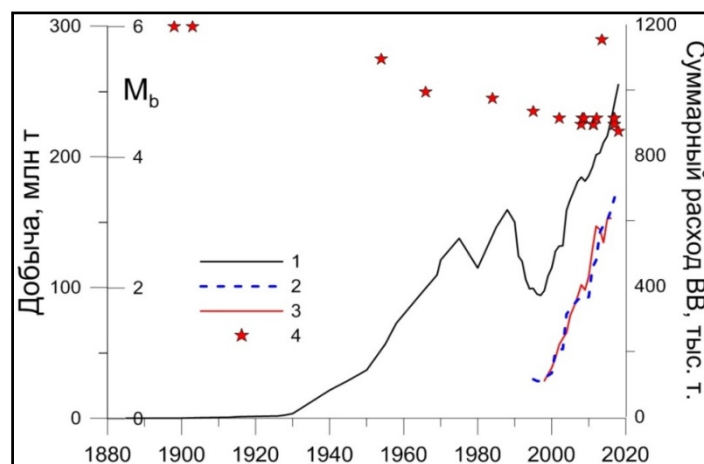
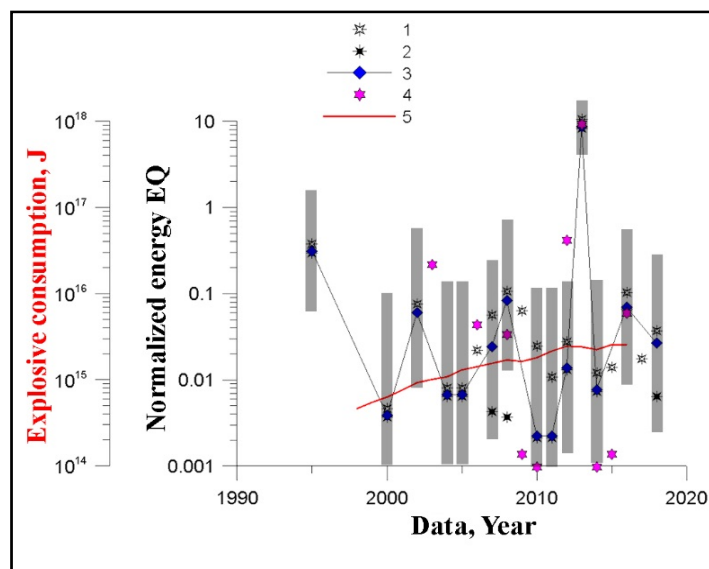


Рисунок 1 – Данные об объеме добычи и расходе ВВ в районе Кузбасса.  
1 – общий объем добычи; 2 – объем добычи открытым способом 3 – годовой расход ВВ  
(правая ось ординат), 4 – магнитуда крупнейших землетрясений



**Рисунок 2 – Изменение со временем энергии, излученной землетрясениями региона, в сопоставлении с ростом суммарного расхода ВВ предприятиями Кузбасса**  
**1 – все события с  $M > 4$ ; 2 – ночные события; 3 – суммарное значение ночных событий и событий с  $M > 4.4$  (со значениями ошибок оценки энергии, серые полосы); 4 – события из каталога Алтае-Саянского филиала ГС РАН; 5 – суммарная энергия взрывов за год, ВВ**

Это означает, что анализ статистических сведений не дает результата и необходимо рассматривать непосредственное влияние горных работ на очаговую область каждого события.

### 3. Инициирование подвижки сейсмическими колебаниями от взрывов

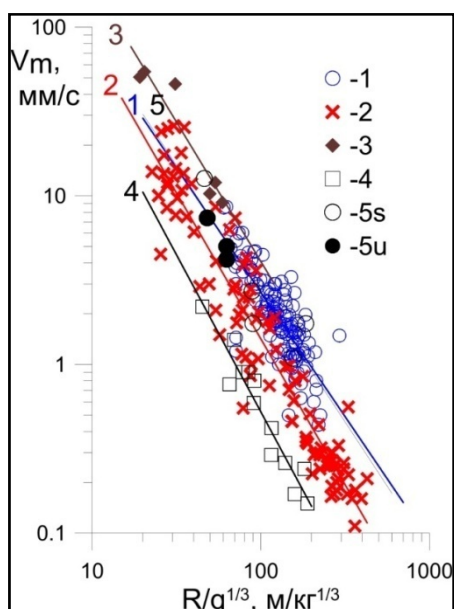
Рассмотрим подробнее вопрос о физических предпосылках непосредственного инициирования землетрясения взрывным воздействием.

Инициирование сейсмических событий колебаниями от землетрясений, расположенных на расстоянии сотни и тысячи километров, является признанным и достаточно распространенным явлением. В качестве минимально необходимого для инициирования обычно принимается уровень деформаций  $\sim 5 \times 10^{-7} - 10^{-6}$ ; хотя некоторые авторы указывают и более низкие значения. При землетрясениях эффективным триггером являются низкочастотные ( $\sim 0.025 - 0.05$  Гц) колебания в группе поверхностных волн; инициирование высокочастотными объемными волнами, характерными для взрывов, считается гораздо менее вероятным [4].

Рассмотрим подробнее возможность инициирования крупного землетрясения массовым взрывом. Для начала оценим амплитуду сейсмических колебаний в окрестности потенциально-го очага.

Опираясь на результаты собственных инструментальных наблюдений за параметрами сейсмических колебаний от крупных короткозамедленных взрывов суммарной мощностью до 3000 тонн ВВ, отметим, что ключевым параметром, влияющим на максимальную амплитуду колебаний, является масса ВВ в одновременно подрываемом ряду (ступени замедления). Нами были получены зависимости модуля вектора максимальной скорости колебаний  $|\frac{d}{dt}|$  от приведенного эпицентрального расстояния  $R/q^{1/3}$  для нескольких карьеров и шахт, расположенных в разных районах России. Здесь  $q$  масса ВВ (т) в ступени замедления, а  $R$  (км) – эпицентрально-ное расстояние до взрываемого блока. Все зависимости имеют общий вид  $V = A \cdot (\frac{q^{1/3}}{r})^N$ . Пара-

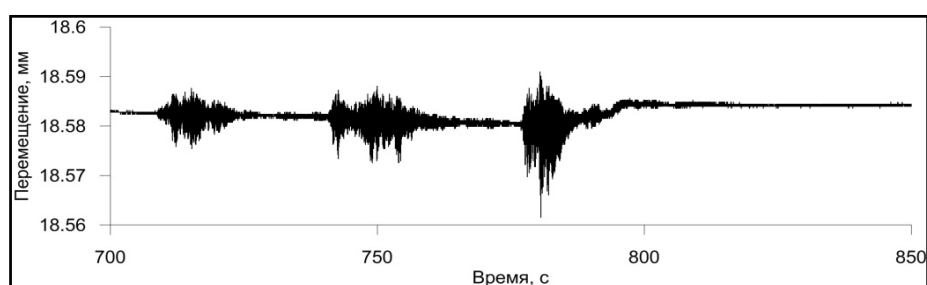
метр  $A$  варьирует для разных объектов от 2400 до 4200;  $N$  – в диапазоне от 1,48 до 1,73. Параметры сейсмических колебаний, конечно, зависят и от характеристик взрывааемых пород, и от технологии работ. Например, на рисунке 3 видно, что при взрывах на Шерегешском руднике (Кузбасс, порфириды, граниты, сиениты  $\sigma_p \sim 170 - 230$  МПа) амплитуда колебаний соответствует верхней границе разброса данных для месторождений КМА. А для слабых известняков Новогуровского карьера (Центральная Россия, известняк,  $\sigma_p \sim 40 - 60$  МПа) амплитуда колебаний на тех



**Рисунок 3 – Зависимость максимального значения вектора массовой скорости от гипоцентрального расстояния.**

1 – Лебединский ГОК (КМА);  
 2 – Коробковское месторождение (КМА); 3 – Шерегешский рудник (Кузбасс); 4 – Новогуровский карьер (центральная Россия),  
 5 – Черногорский угольный разрез (Хакассия)

ные измерения перемещений по разломам при воздействии сейсмических колебаний от взрывов проводились нами на различных объектах. Относительные перемещения бортов разлома или трещины регистрировались лазерными датчиками перемещения с точностью 1 мкм в полосе частот 0–5 кГц. Методика измерений подробно изложена, например, в [7]. На рисунке 4 приведен пример эпюры перемещения по тектонической трещине: хорошо видны остаточные смещения после прохождения сейсмических колебаний от взрыва.



**Рисунок 4 – Зависимость перемещения по тектонической трещине от времени при массовом взрыве на Лебединском карьере**

Сводные результаты измерений остаточных перемещений при воздействии сейсмических колебаний от взрывов на различные разломные зоны описываются регрессионной зависимостью  $\Delta W = 3.2 \cdot V_m^{1.06}$  (рисунок 5). Видно, что сейсмические колебания с амплитудой, различающейся на 1–2 порядка, могут иметь близкие остаточные эффекты, что объясняется различным напряженным состоянием разломных зон.

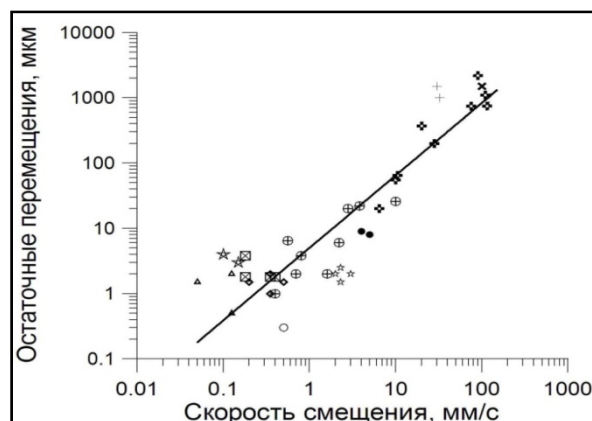
же приведенных расстояниях заметно ниже. В целом можно полагать, что приведенные данные перекрывают основной диапазон амплитуд сейсмических колебаний для массовых взрывов.

Теперь можно оценить параметры динамического воздействия массовых взрывов на разломы на ожидаемых глубинах расположения очагов крупных техногенных землетрясений. Примем для определенности глубину расположения потенциального гипоцентра  $\sim 2\text{--}5$  км. Для карьерных взрывов масса ВВ в одной ступени замедления может достигать 15 т; хотя, как правило, не превышает  $q \sim 1\text{--}3$  т. Соответственно, приведенное расстояние до очага  $-R/q^{1/3} \sim 100\text{--}500$  м/кг<sup>1/3</sup>. Для взрывов в карьерах характерно большое количество ступеней замедления, следовательно, и длительное время воздействия в десятки секунд. На большинстве подземных рудников России масса ВВ в одной ступени замедления не превышает 1–2 тонн, т.е. приведенное расстояние до будущего гипоцентра составляет величину  $\sim 150$  м/кг<sup>1/3</sup>. При этом длительность колебаний при взрывах в рудниках редко превышает несколько секунд.

Таким образом, в абсолютном большинстве случаев при проведении массовых взрывов (как в карьерах, так и в шахтах) максимальная массовая скорость смещения грунта  $V_m$  на глубинах более 2 км заведомо не превышает величины 1–2 мм/с.

При проведении деформографических измерений неоднократно наблюдалось, что воздействие сейсмических волн на напряженный разлом может привести к возникновению остаточных перемещений [5, 6 и т.д.]. Прецизионные измерения перемещений по разломам при воздействии сейсмических колебаний от взрывов проводились нами на различных объектах.





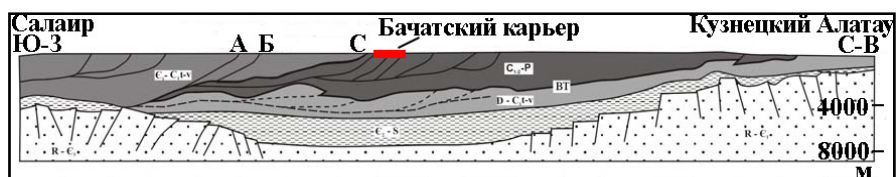
**Рисунок 5 – Зависимость остаточных перемещений, зарегистрированных на нарушениях сплошности разного масштаба, от величины максимальной скорости смещения в сейсмической волне. Разные значки соответствуют данным, полученным на разных объектах (Лебединский ГОК, ОАО «Апатит», Братская ГЭС, различные объекты в Прибайкалье и пр.)**

Таким образом, ожидаемая величина остаточного перемещения по разлому при изменении значения максимальной массовой скорости от взрыва в диапазоне  $0.1 \text{ мм/с} < V_m < \sim 4 \text{ мм/с}$  едва ли может превысить величину в несколько десятков микрон.

#### **4. Изменение напряженного состояния за счет выемки и перемещения породы**

Открытая разработка месторождений. Оценивая влияние горных работ на параметры поля напряжений в массиве, необходимо иметь в виду геолого-тектоническое строение участка. Пример для эпицентральной зоны вышеупомянутого Бачатского  $M_L=6.1$  землетрясения 2013 г. рассмотрен в [8]. Оценка была проведена с целью выявления тектонических нарушений, инициирование которых наиболее вероятно в связи с Бачатским событием.

Расположение очага Бачатского землетрясения и его афтершоков [1, 8] показывает, что они приурочены к зоне Кутоновского взбросо-надвига, разделяющего Беловский и Чертинский блоки. Сместитель этого крупно-амплитудного разлома, расположенного в окрестности Бачатского угольного разреза, имеет запад – юго-западное падение и северо-запад–юго-восточное простирание. Хотя в приповерхностной части наклон сместителя составляет 30–50 градусов, по мере удаления от свободной поверхности, разлом быстро выполаживается и на глубине около 4 км становится почти субгоризонтальным с углом падения около и менее 10 градусов. Это нарушение является основанием Салаирского шарьяжа, надвинутого на угленосные породы Кузнецкого блока (рисунок 6).



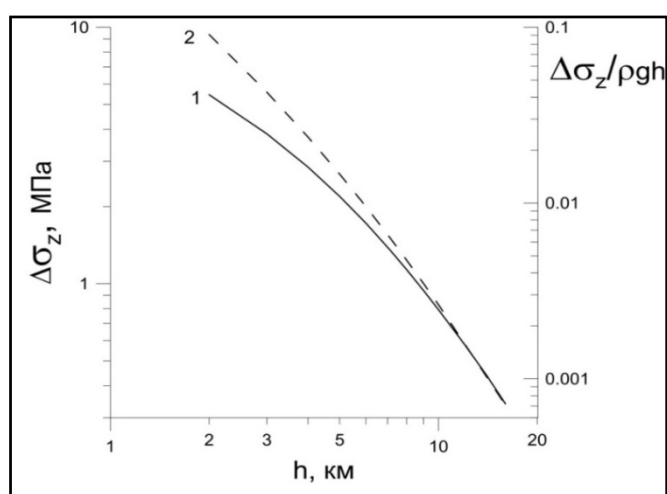
**Рисунок 6 – Модель регионального профиля через Кузнецкий блок (геологический разрез, ориентированный вкрест простирания основных морфоструктур). Красным прямоугольником выделен Бачатский карьер (малая сторона) [8]**

Отсюда при проведении расчетов в качестве сейсмического источника Бачатского события 18.06.2013 мы рассматривали подвижку по одному из разломов с параметрами залегания близкими к Кулоновскому, т.е. с углом падения порядка  $10^0$  на глубине 4–6 км и простиранием СЗ-ЮВ. Были рассчитаны изменения вариации  $\Delta\sigma_c$  функции Кулона  $\sigma_c = \tau - \mu(\sigma_n - p)$  на плоскости будущего разрыва техногенного землетрясения. Согласно «Кулоновской теории инициирования», в случае положительного приращения  $\Delta\sigma_c > 0$  можно будет говорить, что разлом «подведен» ближе к критическому состоянию, в обратном случае – наоборот, «отодви-

нут» в более стабильное состояние. Т.е. такие малые величины, являясь незначительной частью общего сброса напряжений при землетрясении, указывают, что квазистатические изменения напряжений сами по себе не являются причиной землетрясения, а только приближают или удаляют момент события. Существенно, что для таких расчетов не требуется сведений о НДС в регионе. Нужно лишь задать параметры падения и простирания разлома [3].

Поскольку глубина котлована  $h$  невелика по сравнению с линейными размерами в плане, то выемку породы можно с некоторым приближением отождествлять со снятием нагрузки  $\zeta_z = \rho gh$  равномерно распределенной по площади выемки. Выражение для вертикального напряжения  $\sigma_z$  для точек, расположенных на вертикали, проходящей через центр участка с координатами  $(x=0, y=0)$  [9, 10].

Изменение величины  $\Delta\sigma_z$  от глубины для выемки с параметрами близкими к соответствующим значениям для Бачатского разреза показаны на рисунке 7. Плотность породы принята  $\rho = 2.7 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ . Видно, что на глубине в несколько километров изменение вертикальной компоненты поля напряжений в результате выемки породы составляет величину менее процента от литостатического напряжения.



**Рисунок 7 – Зависимость изменения вертикальной компоненты напряжений под центром карьера от глубины. 1 – абсолютная величина; 2 – нормированная на соответствующее значение литостатических напряжений**

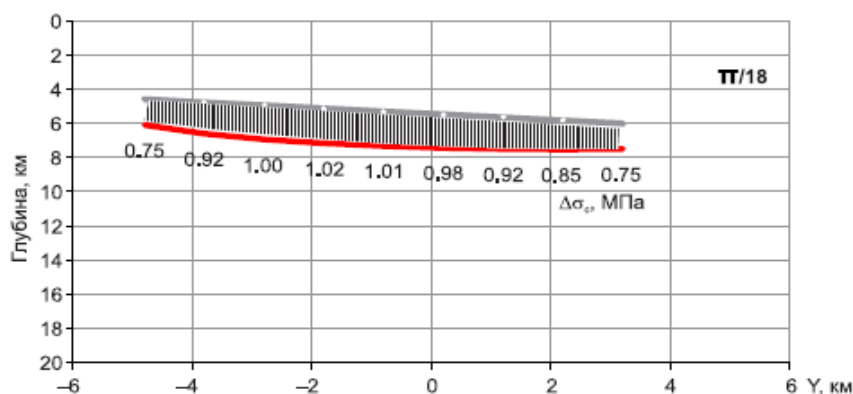
Для полупространства с выемкой размером  $10 \times 2$  км (по размерам Бачатского карьера), рассчитывалось изменение функции Кулона  $\sigma_c = \tau - \mu(\sigma_n - p)$ , на ориентированной определенным образом площадке, используя инкрементальное уравнение:

$$\Delta\sigma_c = \Delta\tau - \mu(\Delta\sigma_n - \Delta p) \quad (1)$$

для нескольких вариантов глубины и угла расположения плоскости разлома относительно свободной поверхности. Здесь  $\sigma_n$  и  $\tau$  – нормальное и касательное к плоскости разлома напряжения,  $p$  – поровое давление и  $\mu$  – коэффициент трения, а значком  $\Delta$  обозначены соответствующие приращения.

Ориентация и угол падения разлома выбирались на основе сведений о строении участка, изложенных выше. Величины вариации функции Кулона на плоскости разлома с углом падения  $10$  градусов вдоль длинной оси выемки карьера Бачатского разреза приведены на рисунке 8. В расчетах предполагалась неизменность порового давления  $\Delta p = 0$ . В результате показано, что на глубине предполагаемого расположения гипоцентра землетрясения величина приращения кулоновского напряжения является положительной. Как отмечалось выше, это означает, что разлом «подведен» ближе к критическому состоянию.





**Рисунок 8 – Результаты расчета приращения кулоновского напряжения на плоскости разлома с углом падения  $10^\circ$ . Серая линия – положение плоскости разлома. Вариация функции Кулона показана в виде заштрихованной области и цифрами**

Изменение кулоновского напряжения при этом составляет величину около 1 МПа. Важно подчеркнуть, что согласно расчетам, такие изменения происходят на обширном участке, заведомо превышающем по размерам диаметр зоны нуклеации достаточно крупного землетрясения (М~6).

Подземная обработка месторождений. При подземной обработке месторождений может оказаться значимым другой эффект. Разветвленная сеть выработок способна оказать заметное влияние на эффективную жесткость массива, что, в свою очередь, может сказаться на устойчивости тектонического разлома, расположенного в окрестности шахтного поля. Для количественной оценки значимости такого эффекта, проводилось численное моделирование.

Схема постановки расчета приведена на рисунке 9. Правая часть блока жестко закреплена, а на левой грани задается линейно нарастающее со временем сдвиговое напряжение. Скорость нарастания сдвигового напряжения выбиралась так, чтобы обеспечить режим деформирования блока, близкий к квазистатическому. Расчеты проводились при помощи двумерного программного комплекса, разработанного на основе лагранжева численного метода «Тензор». Задача решалась в плоской постановке [2]. Рассматривался упругий блок (плотность  $\rho = 2.7 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ , модуль объемного сжатия  $K = 28 \text{ ГПа}$ , модуль сдвига  $G = 11.435 \text{ ГПа}$ ).

Проведенная серия расчетов для монолитного блока шириной  $H$  показала, что оценка эффективного модуля сдвига, рассчитанная при помощи линейной аппроксимации отношения сдвигового напряжения  $\tau_s$  и относительной величины сдвига  $\gamma = W_r / H$ :  $G_{eff} = \tau_s / \gamma$ , дает величину  $G_{eff} = 8.84 \text{ ГПа}$  (линейная регрессия с коэффициентом детерминации  $R = 0.996$ ), т. е. на ~20% меньше модуля сдвига материала. Здесь  $W_r$  – перемещение верхнего левого угла блока. Это расхождение является следствием того, что предположение о равномерном распределении сдвиговых напряжений для блока конечных размеров не выполняется. Можно говорить только о некотором эффективном сдвиговом модуле массива  $G_s$  – коэффициенте пропорциональности между напряжениями и деформациями.

Для оценки влияния пройденных выработок на величину  $G_{eff}$  выполнены расчеты с незаполненными и заполненными отверстиями в упругом блоке. Параметры расположения и размеры выработок соответствовали существующему, разрабатываемому и перспективному плану работ на шахте КМА руда. Как и следовало ожидать, величина эффективного модуля сдвига оказывается тем меньше, чем больше степень нарушенности массива. Для одного горизонта выработок значение  $G_{eff}$  снижается примерно на 20%, для двух — в 1.5 раза. Для трех горизонтов эффективный модуль массива падает почти вдвое.

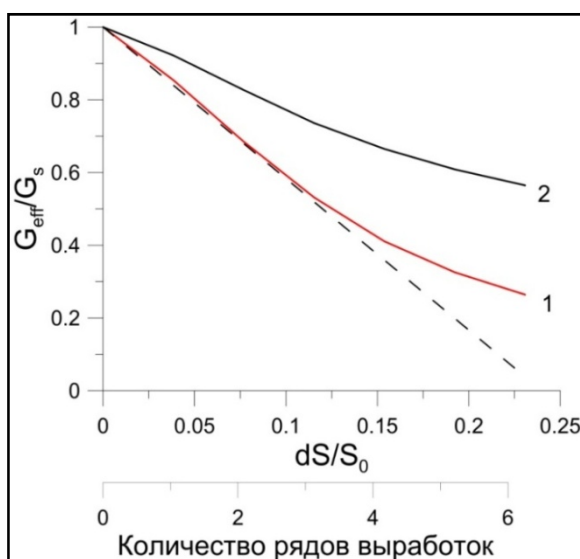
Дополнительно проводились расчеты с большим числом выработок. Интересно, что результаты численного расчета в определенном диапазоне параметров с неплохой точностью совпадают с результатом оценки эффективного модуля среды по соотношениям модели крити-

ческой пористости А. Нура [11], согласно которой модуль сдвига сухой пористой среды  $G$  определяется следующим образом:

$$\frac{G_{eff}}{G_s} = \left(1 - \frac{\phi}{\phi_{кр}}\right)^b, \quad \phi < \phi_{кр} \quad (2)$$

где  $G_s$  — модуль сдвига сплошного массива;  $\phi$  — эффективная пористость среды;  $\phi_{кр}$  — критическое значение пористости — относительный объем пустот, при котором материал теряет связанность;  $b$  — параметр, определяемый эмпирически.

Можно видеть, что при больших относительных величинах площади выработок зависимость отклоняется от соотношения (2). В случае закладки камер разрушенной породой с модулем упругости  $E = 5$  ГПа и коэффициентом Пуассона  $\nu = 0.32$  снижение модуля заметно меньше и даже при трех горизонтах составляет около 30 %, что существенно снижает вероятность возникновения неустойчивости по сравнению с массивом, содержащим незаполненные выработки (рисунок 9).



**Рисунок 9 – Зависимость относительного эффективного модуля сдвига участка массива с выработками от доли площади, занятой незаполненными отверстиями (схема модельного участка массива с выработками показана во врезке). Величина эффективного модуля сдвига  $G$  нормирована на соответствующее значение для ненарушенного массива  $G_{eff}$ . Кривая (1) – результаты расчета для сети незаполненных выработок; пунктирная линия – оценка по соотношению (2) при  $b = 1$  и  $\phi_{кр} = 0.224$ ; 2 – расчет для сети выработок, заполненных разрушенной породой с  $E = 5$  ГПа и  $\nu = 0.32$**

## 5. Изменение гидрогеологического режима

Влияние на сейсмичность закачки/откачки жидкости в массивах горных пород исследуется во множестве работ. В качестве основного физического механизма обычно рассматривается повышение внутрипорового или пластового давления и, соответственно, снижение эффективной кулоновской прочности разломов и трещин в результате техногенного вмешательства.

Второй фактор – изменение уровня гидростатического давления. Рассмотрим его влияние на примере Бачатского карьера.

В Кузбассе при отработке месторождений открытым способом происходит осушение пород до глубин 100–300 м, а при работах на подземных рудниках породы осушаются до глубин 400–500 м. При этом образуются локальные депрессионные поверхности, площади которых достигают десятков кв. километров. Режим подземных вод в окрестности Бачатского карьера нарушен в результате осушения поля разреза. Отвод воды из карьера осуществляется в нескольких направлениях. Его суммарная величина составляет 300–400 м<sup>3</sup>/час. Из-за того, что карьер расположен на возвышенном междуречье, большая часть водопритоков в карьер (~75%) осуществляется за счёт поступления атмосферных осадков непосредственно на площадь открытой горной выработки, а доля подземного стока в суммарном водоотливе невелика.

На глубине зарождения крупных землетрясений в Кузбассе (4–15 км) напряжения, индуцированные изменением уровня подземных вод, составляют величину до нескольких десятков КПа, что существенно ниже вариаций кулоновских напряжений, связанных с извлечением породы (см. выше).

## 6. Заключение

В качестве возможных причин инициирования Бачатского события мы рассмотрели общий уровень антропогенной нагрузки на регион, непосредственное воздействие сейсмических колебаний от массовых взрывов, а также извлечение и перемещение горной массы из карьера.

Сравнение данных об объеме добычи и расходе ВВ в районе Кузбасса с периодичностью возникновения сильных (с магнитудой  $M_b > 4$ ) землетрясений, а также вариации энергии, излученной сильными землетрясениями региона, с ростом суммарного расхода ВВ предприятиями Кузбасса, не выявили значимой корреляции.

Оценки возможности прямого инициирования сейсмическими колебаниями от массовых короткозамедленных взрывов, крупного землетрясения, с гипоцентром, располагающимся на глубине в несколько километров, продемонстрировали, что такое развитие событий едва ли возможно.

Анализ геолого-тектонического строения района в совокупности с данными о расположении афтершоков Бачатского события, позволяет заключить, что вероятным источником колебаний при основном толчке была динамическая подвижка по разлому с углом падения порядка  $10^\circ$  на глубине 4–6 км и простираем СЗ-ЮВ.

Выполненный в упругой постановке аналитический 3D расчет изменения поля напряжений в окрестности выемки с размерами  $10 \times 2 \times 0.3$  км показал, что вариация функции Кулона на плоскости такого разлома положительна и составляет величину порядка 1 МПа. При этом эти изменения происходят на обширном участке разлома, существенно превышающем характерный размер зоны нуклеации землетрясения с  $M 6$ , что является необходимым условием для возникновения динамической подвижки. Сопоставление результатов расчетов с данными наблюдений за расположением афтершоков при землетрясениях показало, что таких вариаций может оказаться достаточно для инициирования.

Используемая Кулоновская теория инициирования афтершоков разработана для «мгновенного» изменения поля напряжений в массиве результате подвижки по разлому. Изменение НДС в результате горных работ происходит со значительно меньшей скоростью. Чтобы проверить влияние фактора времени, были проведены численные расчеты процесса возникновения динамической неустойчивости в рамках модели «Rate&State». Результаты расчета показали, что и время срыва, и величина сброшенного напряжения, и максимальная скорость смещения по разлому примерно одинаковы в случае мгновенного и медленного изменения напряженного состояния.

Судя по полученным результатам, основным триггером Бачатского землетрясения явились горные работы – выемка и перемещение горной породы приблизили момент землетрясения, подготовленного естественной эволюцией коры.

### Список литературы

1. Техногенное Бачатское землетрясение 18.06.2013 г. ( $M_L = 6.1$ ) в Кузбассе — сильнейшее в мире при добыче твердых полезных ископаемых / А.Ф. Еманов, А.А. Еманов, А.В. Фатеев, Е.В. Лескова. // Вопросы инженерной сейсмологии. — 2016. — Т.43, № 4. — С. 34–60.
2. Кочарян Г. Г. Об инициировании тектонических землетрясений при подземной отработке месторождений / Г. Г. Кочарян, А. М. Будков, С. Б. Кишкина // ФТПРПИ. — 2018. — №4. — С.34-44.
3. Кочарян, Г.Г. Об инициировании тектонических землетрясений горными работами. Выемка и перемещение породы при открытых горных работах / Г.Г. Кочарян, С.Б. Кишкина. // ФТПРПИ. — 2018. — №5. — С.45-53.
4. Кочарян Г. Г. Геомеханика разломов. — М.: Геос, 2016. — 424 с.
5. Fault slip, seismicity, and deformation in the Mexicali Valley, Baja California, Mexico, after the M 7.1 Hector Mine earthquake / E. Glowacka, A.F. Nava, D.D. Cossio [et al.] // Bull. Seismol. Soc. America. — 2002. — V. 92. — P. 1290-1299.
6. О влиянии сейсмических колебаний на развитие тектонических деформаций. / В.В. Адушкин, Г.Г. Кочарян, Д.В. Павлов [ и др.] // Докл. РАН. —2009. — Т. 425, № 1. — С. 98-100.
7. Адушкин, В.В. Новый подход к мониторингу техногенно-тектонических землетрясений / В.В. Адушкин, С. Б. Кишкина, Г. Г. Кочарян. // ФТПРПИ. — 2017. — №1. — С. 3-14.

8. On the genesis of the 2013 Bachat earthquake / G. G. Kocharyan, S. B. Kishkina, A. M. Budkov, G. N. Ivanchenko. – DOI 10.5800/GT-2019-10-3-0439 // *Geodynamics & Tectonophysics*. – 2019. – Vol. 10, nr. 3. – P. 741-759.

9. Ляв, А. Математическая теория упругости (перевод с 4-го английского издания)/ А.Ляв. – М.–Л.: ОНТИ НКТП СССР, 1935. – 674 с.

10. Короткин, В.Г. Объемная задача теории упруго-изотропного полупространства / В.Г. Короткин // *Сборник Гидропроекта*. № 4. Л.–М.: ГОНТИ, 1938. – С. 52–85.

11. Critical porosity: A key to relating physical properties to porosity in rocks / A. Nur, G. Mavko, J. Dvorkin, D. Galmudi // *The Leading Edge*. – 1998. – Vol. 17, nr. 3. – P. 357-362.

#### **Список публикаций ИДГ РАН 2019 года в рамках научно-исследовательских работ горной направленности**

1. Kocharyan G.G., Kishkina S.B., Budkov A.M., Ivanchenko G.N., 2019. On the genesis of the 2013 Bachat earthquake. *Geodynamics & Tectonophysics* 10 (3), 741–759. doi:10.5800/GT-2019-10-3-0439.

2. Кочарян Г.Г., Батухтин И.В., Будков А.М., Иванченко Г.Н., Кишкина С.Б., Павлов Д.В. Об иницировании динамических подвижек по разломам техногенным воздействием. // *Геофизические процессы и биосфера*. 2019. Т. 18, № 3. С. 104–116. <https://doi.org/10.21455/GPB2019.3-7>.

3. Беседина А.Н., Кабыченко Н.В., Павлов Д.В., Волосов С.Г. Инструментальные методы расширения амплитудно-частотной характеристики геофона. // *Сейсмические приборы*. 2019. Т. 55, № 3. С.5–22. <https://doi.org/10.21455/si2019.3-1>.

4. Адушкин В.В. Обрушение горных склонов и образование каменных лавин при крупномасштабных подземных взрывах. // *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. 2019. №6. С.35-48.

5. Кочарян Г.Г., Куликов В.И., Павлов Д.В. о влиянии массовых взрывов на устойчивость тектонических разломов. // *ФТПРПИ*. – 2019. – №6. – С.49-58.

6. Kocharyan G., Budkov A., Kishkina S. Triggering Tectonic Earthquakes by Mining. In: Kocharyan G., Lyakhov A. (eds) *Trigger Effects in Geosystems*. Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. Springer, Cham – 2019. pp.319-328. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-31970-0\\_34](https://doi.org/10.1007/978-3-030-31970-0_34).

7. Ostapchuk A.A., Morozova K.G., Pavlov D.V. Influence of the Structure of a Gouge-Filled Fault on the Parameters of Acoustic Emission. // *Acta Acustica united with Acustica*, Vol. 105 (2019)

8. Ostapchuk A.A., Pavlov D.V., Ruzhich V.V., et al., 2019. Seismic-acoustics of a block sliding along a fault. / *Pure and Applied Geophysics*, doi: 10.1007/s00024-019-02375-1.

9. Kocharyan G.G., Morozova K.G., Ostapchuk A.A. Acoustic Emission in a Layer of Geomaterial under Deformation by Shear. // *J. Min. Sci.* – 2019. – Т.55. – №3. – С.358-363. – DOI: 10.1134/S1062739119035660.

10. Мартынов В.С., Остапчук А.А., Будков А.М. Демпфирование распространения косейсмического разрыва// Триггерные эффекты в геосистемах. // *Материалы V Международной конференции*. Под редакцией В.В. Адушкина, Г.Г. Кочаряна. 2019. С. 310-315.

11. Батухтин И.В., Будков А.М., Кочарян Г.Г. Особенности старта и остановки разрыва на разломах с гетерогенной поверхностью. // Триггерные эффекты в геосистемах *Материалы V Международной конференции*. Под редакцией В.В. Адушкина, Г.Г. Кочаряна. 2019. С. 137-149.

12. Borisov V., Ivanov A., Kritskiy B., Menshov I., Savenkov E. B., Trimonova M., Turuntaev S.B., Zenchenko E.V. Analysis of Poroelastic Laboratory Experiments Using Numerical Simulation Techniques. // Kocharyan G., Lyakhov A. (eds) *Trigger Effects in Geosystems*. Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. Springer, Cham, pages 244 to 252, doi:10.1007/978-3-030-11533-3\_23.

13. Беседина А.Н., Э.М. Горбунова, А.А. Остапчук, Д.В. Павлов Отклик водонасыщенного коллектора на прохождение сейсмических волн в ближней зоне массового взрыва в шахте. // *Динамические процессы в геосферах*. – 2019. – №11. – DOI: 10.26006/IDG.2019.11.44377.

14. Bakeev R.A., Yu.P. Stefanov, G.G. Kocharyan Stages of strike-slip faulting and block structure dynamics. // *PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCED MATERIALS WITH HIERARCHICAL STRUCTURE FOR NEW TECHNOLOGIES AND RELIABLE STRUCTURES 2019*, doi:10.1063/1.5131892.

15. Nesterkina M.A., V.I. Kulikov, N.L. Konstantinovskaya, I.A. Sanina, O.Yu. Riznichenko Assessment of the Seismic Impact of Industrial Explosions in the Central Part of the East European Platform. // *Seismic Instruments volume 55*, pages148–159(2019), doi:10.3103/S0747923919020105.

16. Varypaev A.V., I.A. Sanina, A.B. Chulkov, A.F. Kushnir Application of Robust Phase Algorithms for Seismic Emission Detection in the Area of Blasting Operations in Mines. // Seismic Instruments volume 55, pages 136–147 (2019). doi:10.3103/S0747923919020129.

17. Anisimov V. N., Logachev V. I. & I. I. Logachev Destruction of Ferruginous Quartzite in Rock Mass by High-Gradient Magnetic Fields. // Bulletin of the Lebedev Physics Institute V. 46, P. 364–370 (2019), doi:10.3103/S1068335619110095.

18. Baryshnikov N.A., E.V. Zenchenko, S.B. Turuntaev The Change in the Permeability of an Ultra-Low Permeable Limestone Sample Under the Influence of Confining Pressure During the Loading-Unloading Cycle. // Kocharyan G., Lyakhov A. (eds) Trigger Effects in Geosystems. Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. Springer, Cham, pages 261 to 266, doi:10.1007/978-3-030-11533-3\_25.

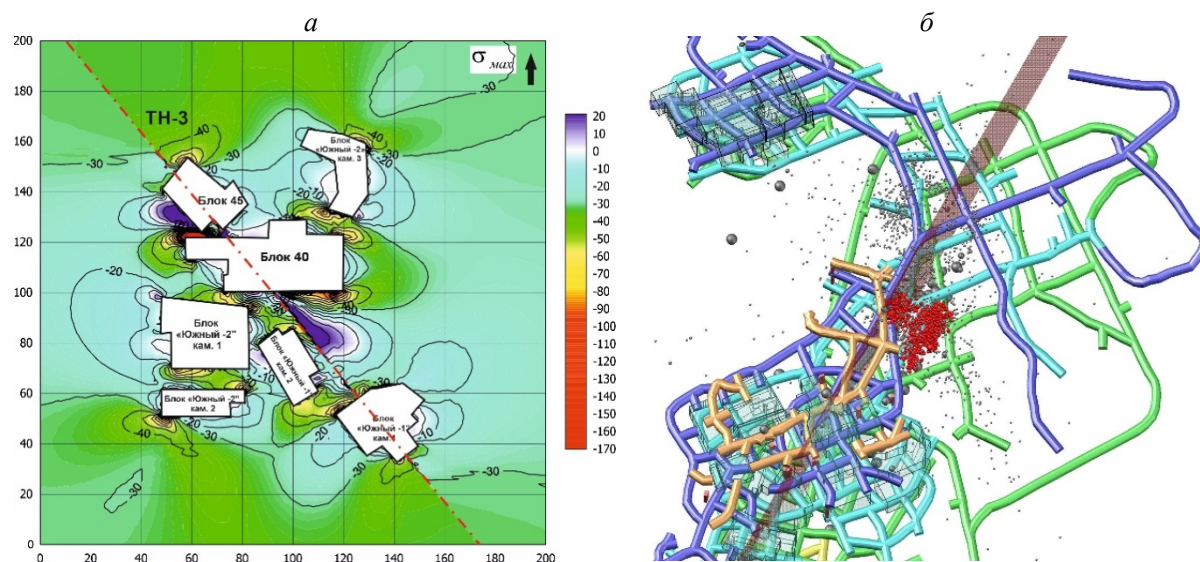
19. K.M. Gerke, M.V. Karsanina, R. Katsman Calculation of tensorial flow properties on pore level: Exploring the influence of boundary conditions on the permeability of three-dimensional stochastic reconstructions. // 2019 Physical Review E volume 100 issue 5, doi:10.1103/PhysRevE.100.053312.

20. Тюпин В.Н., Анисимов В.Н. Разработка методов сохранения устойчивости открытых поверхностей трещиноватых горных массивов при проведении массовых взрывов. // ГИАБ.- 2019. – №4. – С.53-62.

### 2.3. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА ДВО РАН

#### 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, в районе которой происходит перераспределение напряжений и их опасная концентрация преимущественно на участках между очистным пространством отработанных камер (рисунок 1). При этом уровень максимальных сжимающих и растягивающих напряжений на этих участках достигают 170 МПа и 20 МПа, превышая предельные значения прочности слагающих пород на сжатие и сдвиг в 1,7 и 4 раза соответственно, что указывает на повышенную удароопасность этих участков и повышенный риск динамических проявлений горного давления.



**Рисунок 1 – Распределение максимальных горизонтальных напряжений (а) и расположение очагов сейсмоакустических событий в районе ТН-3 на участке рудной залежи Восток-1 (в проекции на горизонт -390 м)**

Разработан способ контроля динамических характеристик сейсмоакустических преобразователей, исключая зависимость измерений от механических воздействий. В основу предложенного способа положен контроль непосредственно самой активной поверхности сейсмоакустических преобразователей с использованием волоконно-оптического лазерного интерферометра. Разработанный способ включает в себя также решение по выделению сигнала из шума, в том числе аппаратного, при проведении подобных измерений для увеличения чувствительности и достоверности определяемых характеристик.

Определены потенциально устойчивые зоны локации источников акустической эмиссии в труднодоступных участках массива горных пород (МГП) на основе выбора конфигурации геофизических антенн, позволяющих минимизировать систематические ошибки. Выделены условия, которые значительно влияют на результаты локации и показаны пути повышения общей точности места определения источников акустической эмиссии в МГП. Численным моделированием подтверждена возможность использования выбранных конфигураций геофизических антенн для достижения заданных точностных характеристик в конкретных зонах, а также показана возможность снижения погрешности за счет конкретной оптимизации исходных данных.

Разработан высокочувствительный способ контроля образования трещиноватости в образцах твердого тела под нагрузкой, основанный на использовании специальных излучаемых сигналов с последующей аналитической обработкой. Непосредственно способ является активным и автоматизированным, и позволяет вести контроль в условиях реального времени и минимизации человеческого фактора. Численным моделированием показана работоспособность способа. Его чувствительность на несколько порядков выше ранее разработанных. Проводимые эксперименты подтвердили заявленные возможности.

В области *горной теплофизики* разработана математическая модель и программа для ЭВМ «WELL-4z», предназначенная для расчета квазистационарных течений в пароводяных скважинах в области отдельной зоны питающего пласта. Программа позволяет производить расчет параметров течения внутри зоны питания скважины, имеется возможность реализации как для однофазного, так и двухфазного течений. В двухфазном потоке обеспечивается возможность реализации трех режимов течения: с малым паросодержанием, переходного и с большим паросодержанием. Программа рекомендована для прогнозного расчета производительности скважин Мутновского и Паужетского месторождений полуострова Камчатка.

В области *горной информатики* разработаны базовые принципы и методический подход к развитию железорудной промышленности и черной металлургии на Дальнем Востоке России. Показано, что в основе создания Дальневосточного металлургического комбината лежат железорудные и марганцевые ресурсы, включая месторождения Кимкано-Сутарского ГОКа, Гаринское железорудное и Поперечное марганцеворудное месторождения, а также наличие всех видов вспомогательного минерального сырья (рисунок 2). Реализация этого проекта приведет к внутрирегиональной интеграции экономик субъектов ДФО на базе освоения минерально-сырьевых ресурсов для металлургии и внутри регионального использования конечной продукции, а также создаст предпосылки для перехода к индустриальному типу развития южной части ДФО.

В результате выполнения пространственной группировки эндогенных месторождений дополнена схема районирования территории Хабаровского края. Выделено 13 ареалов (рисунок 3). В минерагеническом отношении два золотоносных ареала – Охотский и Нижнеамурский с мезозой-кайнозойским оруденением, характеризуются высокой степенью сходства, что позволяет объединять их в единую Приохотскую металлогеническую провинцию, которой свойственна зональность: в центре – золоторудные месторождения Охотского и Нижнеамурского ареалов, с запада они окаймляются зоной олововольфрамовых объектов (ареалы I, XI, XIII). В структурном плане подчеркнута роль субмеридиональных и субширотных структур в локализации гидротермального оруденения. Перспективы золотого и комплексного золото-медно-порфирирового оруденения связываются, в первую очередь, с Нижнеамурским и Охотским ареалом, во вторую – с Удским и Кербинским, в третью – с остальными территориями. Отмечена возможность выявления 2-4 крупных по запасам и 7-10 средних месторождений золота в Хабаровском крае.



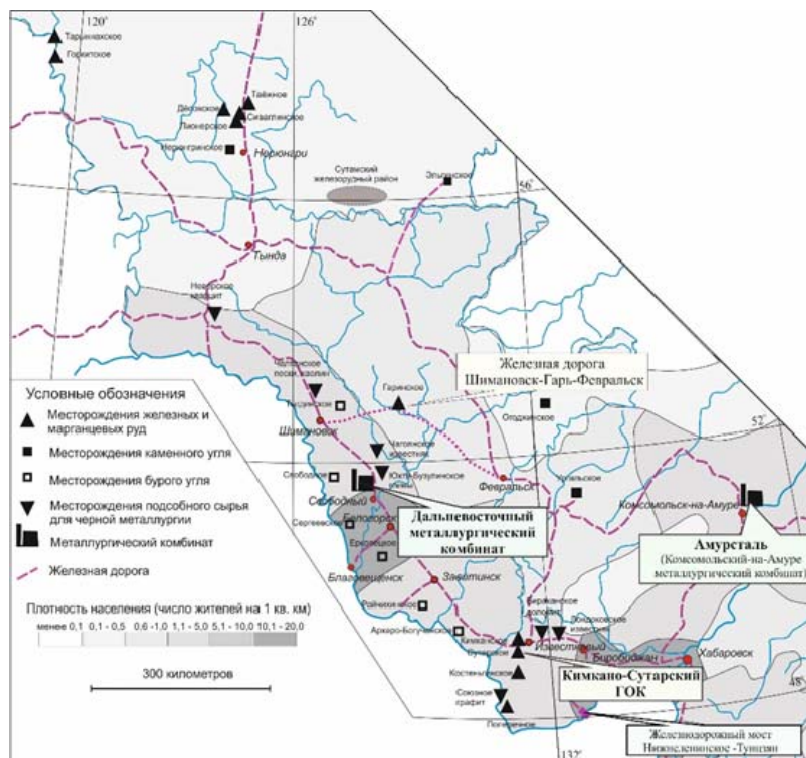


Рисунок 2 – Инфраструктура и сырьевая база Дальневосточного металлургического комбината

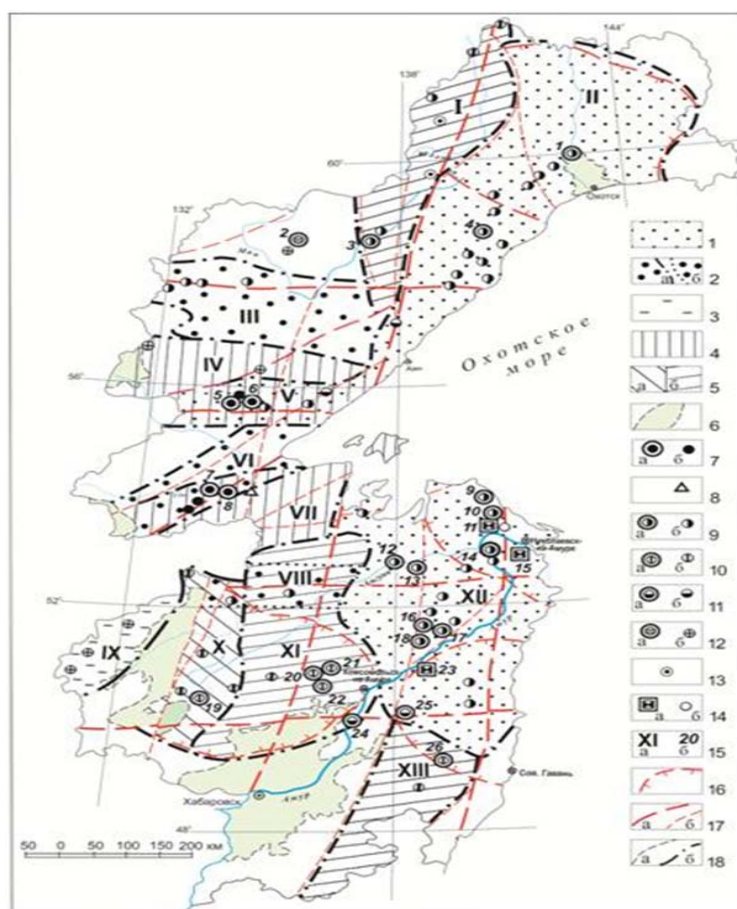


Рисунок 3 – Схема минерагенического районирования территории Хабаровского края  
(Продолжение рисунка см. на след. странице)

1. Золотоносные ареалы: оруденение мезозой-кайнозойского возраста. 2. Золотоносные ареалы: а) оруденение палеозойского возраста, б) оруденение палеозой-мезозойского возраста. 3. Ареалы с проявлениями редких металлов и редких земель. 4. Ареалы с проявлениями редких земель и фосфор-железо-титанового оруденения. 5. Оловоносные ареалы: а) с месторождениями касситерит-кварцевой формации, б) с месторождениями касситерит-силикатной формации. 6. Предгорные прогибы и впадины с угленосными юрско-меловыми отложениями. 7-14. Месторождения: а) крупные и средние, б) мелкие. 7. Комплексные фосфор-железо-титановые. 8. Марганцевые. 9. Золоторудные. 10. Оловорудные. 11. Медно-порфиоровые с золотом. 12. Проявления и месторождения: а) циркон-редкометалльные, б) редкоземельные с ураном. 13. Вольфрамовые. 14. Месторождения и проявления нерудного сырья: а) вторичные кварциты, б) цеолиты. 15. Номера: а) ареалов, б) месторождений. 16. Кольцевые структуры. 17. Разломы: а) региональные, б) локальные. 18. Границы: а) геологические, б) ареалов. Ареалы: I – Юдомо-Майский, II – Охотский, III – Учуро-Майский, IV – Джугдзурский, V – Верхнеучуро-Немуйский VI – Удской, VII – Удско-Торомский, VIII – Кербинский, IX – Мельгинский, X – Буреинский, XI – Амгуньский, XII – Нижнеамурский, XIII – Хорско-Ануйский. Месторождения: 1. Хаканджинское. 2. Алгаминское. 3. Тас-Юрях. 4. Красивое. 5. Гаюмское. 6. Маймаканское. 7. Урожайное. 8. Геранское. 9. Многовершинное. 10. Белая Гора. 11. Искинское. 12. Албазино. 13. Чульбаткан. 14. Полянка. 15. Гряда Каменистая. 16. Учаминское. 17. Дяппе. 18. Делькен. 19. Правоурмийское. 20. Перевальное. 21. Соболиное. 22. Фестивальное. 23. Шелеховское. 24. Малмыжское. 25. Понийское. 26. Монау.

Разработана картографическая база данных FE-MI GIS для использования ее в различных компьютерных приложениях, реализующих ГИС-технологии, для оценки напряженно-деформированного состояния горных массивов, техногенных россыпей на золотоносных площадях, антропогенного воздействия на окружающую среду, а также для оценки закономерностей горизонтального движения тектонических потоков и распределения вызванных им напряжений в массивах горных пород. Состоит из набора растровых слоев, поддерживающих библиотеку GDAL (Geospatial Data Abstraction Library), векторных слоев, поддерживающих библиотеку OGR, содержит также атрибутивную информацию (рисунок 4).

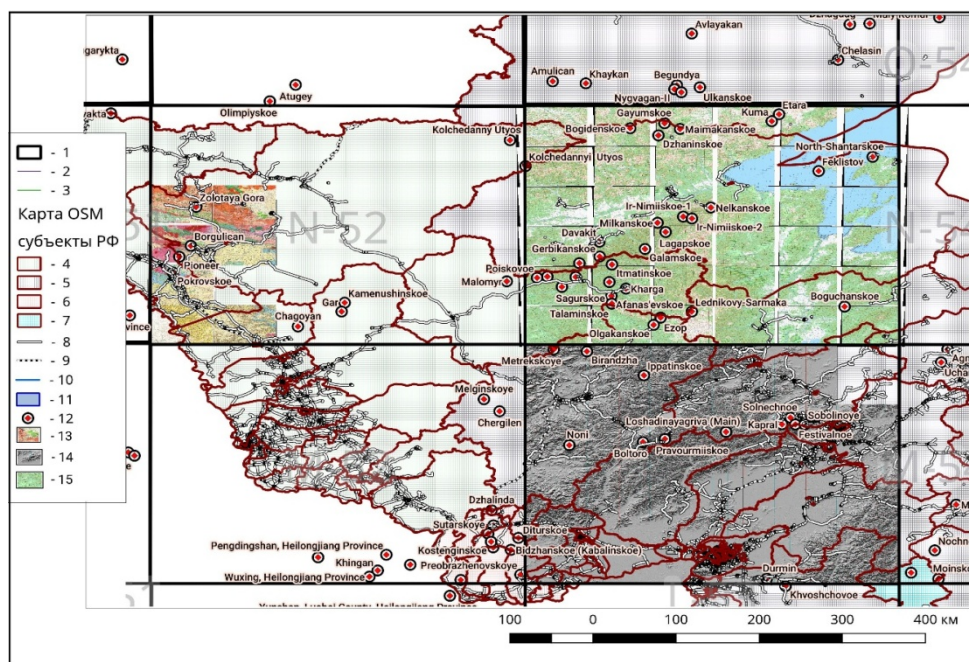


Рисунок 4 – Пример обзорной карты на основе матрицы высот SRTM03

1 – разграфка листов 1:1 000 000 с номенклатурой; 2 – меридианы; 3 – параллели; Карта OSM – субъекты федерации: 4 – Амурская область; 5 – Хабаровский край; 6 – Еврейская автономная область; 7 – Приморский край; 8 – автодороги; 9 – железные дороги; 10 – гидросеть линейная (отображение отключено); 11 – гидросеть площадная (отображение отключено); 12 – месторождения полезных ископаемых с названиями; 13 – геологические карты 1:200 000; 14 – тайлы матриц высот SRTM30 в рамках листа М-53; 15 – топокарты ГГЦ, листы 1:200 000



В области *геотехнологии* в результате выполненных лабораторных и опытно-промышленных исследований в условиях труднообогатимых золотороссыпных месторождений обоснована целесообразность применения магнитной и электромагнитной сепарации на шлюзах промывочного прибора и в ШОУ. Разработана модернизированная установка на базе лабораторного магнитного сепаратора ЭБМ-32/20, в которой усовершенствованы: магнитная система, конструкция ванны, системы удаления магнитной фракции и вывода немагнитного продукта, что обеспечило минимизацию флокуляционных эффектов. Экспериментальная проверка в ШОУ участка Болотистый (Хабаровский край) (рисунок 5) показала, что включение магнитного сепаратора в схему доводки концентратов позволяет снизить содержание золота в хвостах в 7,8 раза.

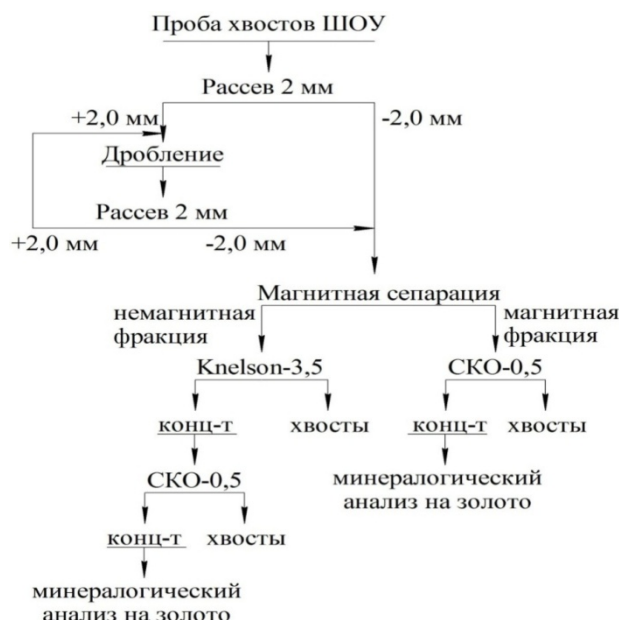
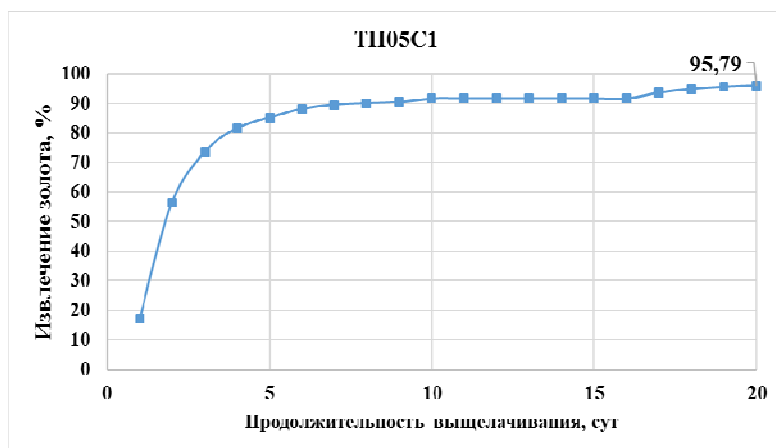


Рисунок 5 – Технология обработки проб хвостов ШОУ

## ОБОГАЩЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

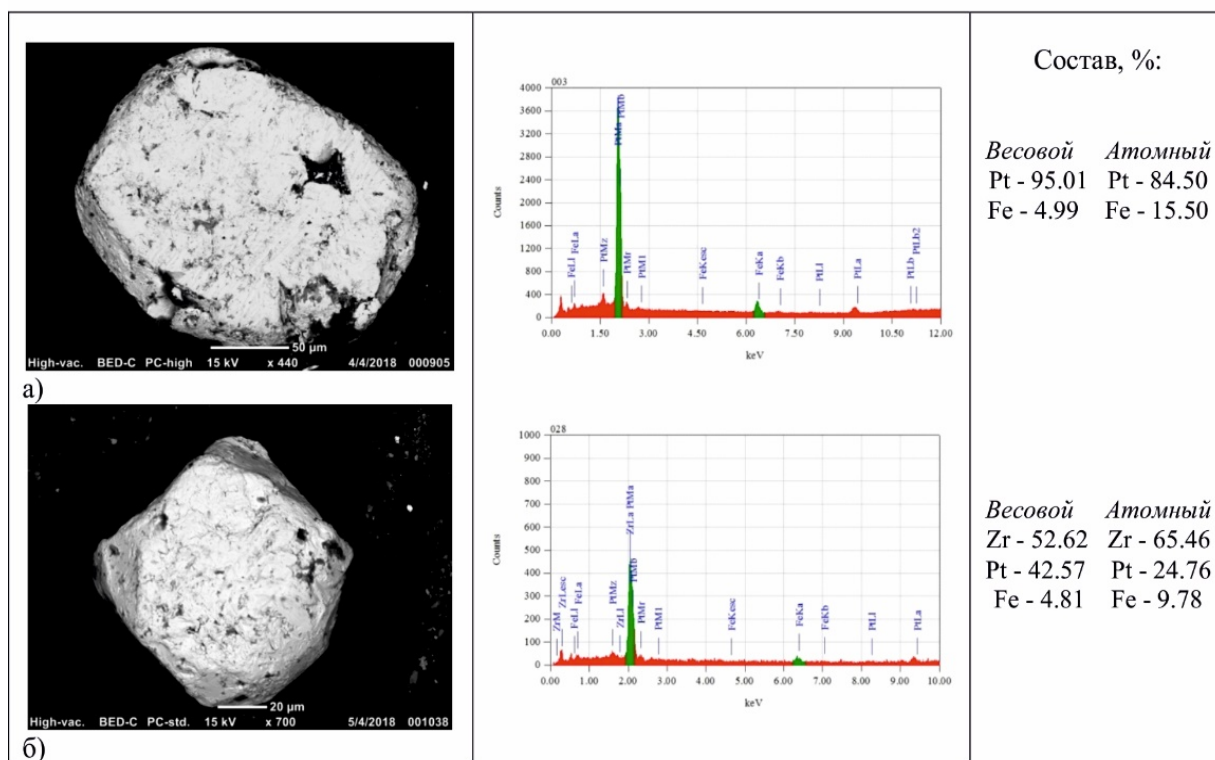
**Физические и химические процессы разделения, концентрации и переработки минералов.** Установлено, что предоокисление гипергенно-трансформированных медно-порфировых руд активированными сернокислотно-пероксидными растворами позволяет существенно улучшить динамику последующего выщелачивания и степень извлечения из них золота. Выщелачивание золота из подготовленных руд осуществлялось обработанным в специальном электрофотохимическом реакторе раствором с хлоридными комплексообразователями, содержащим также активные формы кислорода. В ходе экспериментальных исследований такой технологической схемы активационного окисления-выщелачивания в лабораторных перколяторах, извлечение золота из проб руд зоны окисления Малмыжского золото-медно-порфирового месторождения превысило 90 %. При использовании данной схемы сокращается соотношение периодов интенсивного выхода растворенного золота в продуктивный раствор (участок интенсивного прироста извлечения на графике, рисунок 6) и периода довыщелачивания оборотными растворами (участок «плато» на графике, рисунок 6).

Минералого-технологическими исследованиями зоны окисления Малмыжского золото-медно-порфирового месторождения (участок Свобода, Хабаровский край) в интенсивно каолинизированных и лимонитизированных диоритовых порфиритах наряду с минералами меди установлены видимые зерна (0,2-0,7 мм) самородного золота, а также весовые знаки платины и платино-циркониевого интерметаллида (рисунок 7), ранее не отмечаемые исследователями. В ассоциации с минералами меди, золота, платины отмечаются сульфиды Fe, Pb, Zn, а также самородные медь, алюминий, цинк. Выявлено, что формирование Малмыжского месторождения происходило на фоне значительного выноса углерода, что отразилось на присутствии углеродистых и азотисто-углеродистых образований практически во всех рудных минералах, а также в находках алмазов в руде зоны окисления. По результатам исследований разработаны оригинальные многоступенчатые технологические схемы эффективного извлечения меди и золота.

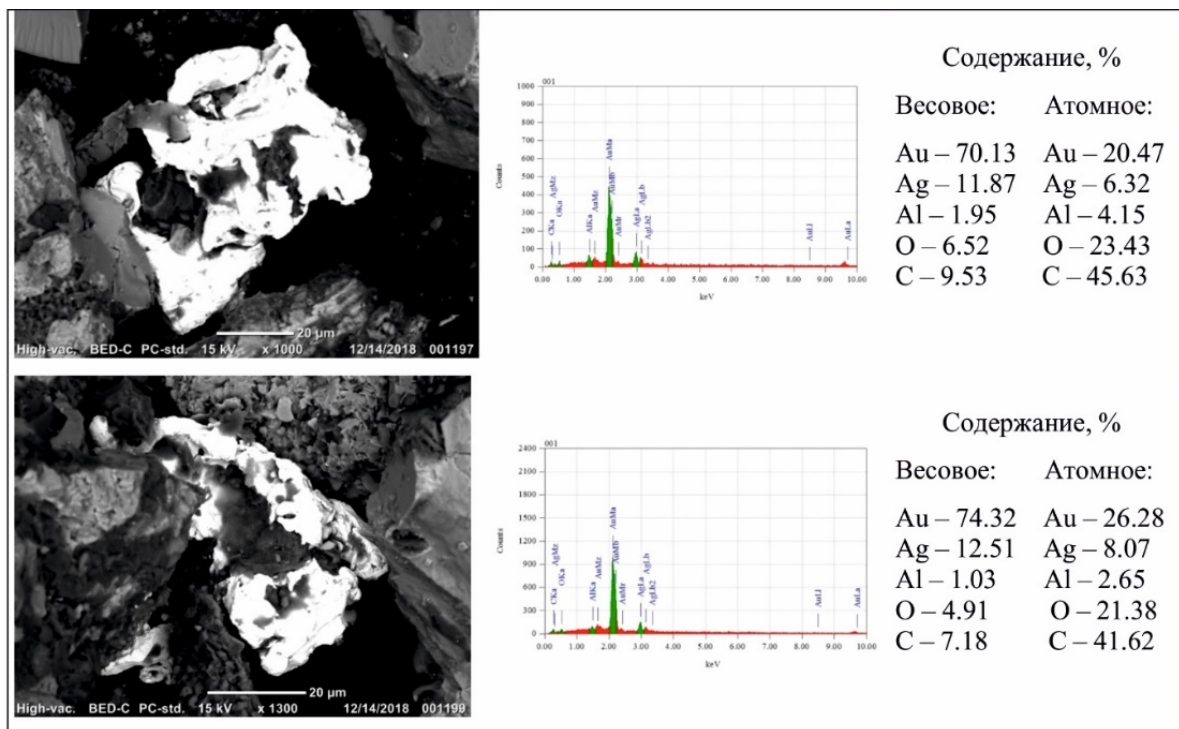


**Рисунок 6 – Динамика извлечения золота активированными хлоридно-гипохлоритными растворами из медно-порфировых руд зоны окисления месторождения Малмыж**

Изучены основные формы нахождения золота в железомарганцевых рудах месторождения Поперечное: свободное, гравитационное золото (-0,1+0,071 мм) в рудах и вмещающих породах от 0,67 до 1,38 г/т, платины (-0,5+0,1 мм) от 0,22 до 3,69 г/т; дисперсное, химически связанное золото и в форме тонких вкраплений – от 0,46 до 1,31 г/т (рисунок 8). Золото содержит примесь серебра и включения породообразующих и жильных минералов. Установлено, что механохимическое активирование минеральной массы в процессе агитационного выщелачивания способствует снижению фактора технологической упорности материала и выходу золота (до 90 % и выше) в продуктивный раствор.



**Рисунок 7 – Минералы платины из окисленных руд золото-медно-порфирового месторождения Малмыж (участок Свобода)**



**Рисунок 8 – Зерна золота при электронно-микроскопическом исследовании углистых сланцев: с примесью серебра и алюминия, включения – кварц (кристалл 7-12 мкм) и породообразующие минералы до 10 % (60-80 мкм); с примесью серебра и алюминия, с включениями доломита и пироксенов (до 30%), (80-100 мкм)**

## **2.4. ИНСТИТУТ УГЛЯ ФЕДЕРАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЦЕНТРА УГЛЯ И УГЛЕХИМИИ СО РАН**

**Ожидаемый результат: Техничко-технологические решения открытого и комбинированного способов освоения угольных месторождений и извлечения полезных компонентов (схемы и способы вскрытия, подготовки, системы разработки).**

Обоснованы эффективные технико-технологические решения открытого и комбинированного способов освоения угольных месторождений и извлечения полезных компонентов (схемы и способы вскрытия, подготовки, системы разработки).

Проведен анализ инновационных решений создания эффективных и экологически сбалансированных систем открытой и комбинированной угледобычи. В развитие работ по совершенствованию технологий открытой разработки добычи угля на пологопадающих и наклонных пластовых месторождениях с максимальным использованием техногенного ресурса выработанных пространств угольного разреза, разработан метод выбора рационального порядка разработки пластовых месторождений двумя очередями с внутренним отвалообразованием для циклично-поточного комплекса. В основу метода положены новые принципы формирования и развития технологического пространства, обеспечивающие наиболее выгодные условия эксплуатации месторождений по сравнению с известными принципами, используемыми в технологиях с традиционным продольно-поперечным порядком развития рабочей зоны угольного разреза.

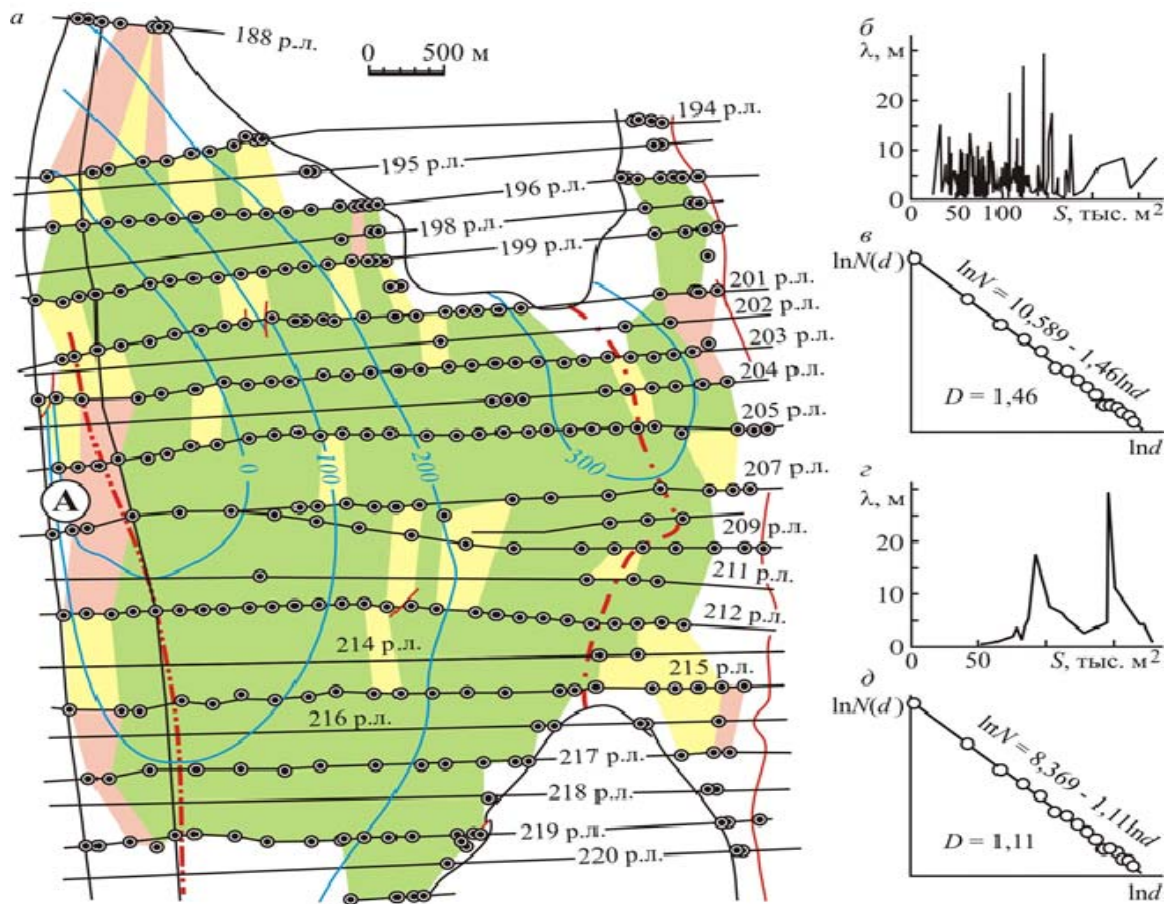
Технологический комплекс комбинированной разработки угольных месторождений рассматривается как совокупность функционально взаимосвязанных средств технологического оснащения открытых и подземных работ.

Для своевременного получения достоверной информации оперативного планирования, безопасного и эффективного ведения горных работ предложен новый подход к проектированию эксплуатационной разведки, заключающийся в:

- выделении контура(ов) проведения сопровождающей разведки (либо по четырехугольникам разведочной сети скважин с определением критерия разведанности и выделением с высоким их значением, либо по результатам многовариантного горно-геометрического моделирования);
- построении ряда, характеризующего изменение значений критериев разведанности по мере возрастания площадей ячеек сети (рисунок 1б);
- оценке построенного ряда фрактальной размерности  $D$  для объекта в целом (рисунок 1в) (если эта размерность превышает 1,35, то анализируемая площадь уменьшается, и по четырехугольным ячейкам сети скважин, расположенным в ее границах, выполняется построение нового варианта ряда (рисунок 1г) и оценка его фрактальной размерности (рисунок 1д);
- расчете по формуле требуемой плотности сети эксплуатационной разведки.

$$S_{\text{пр}} = S_{\text{исх}} \frac{\lambda_{\text{пр}} - a}{\lambda_{\text{исх}} - a},$$

где  $S_{\text{пр}}$  – проектная площадь ячейки сети сгущения,  $\text{м}^2$ ;  $S_{\text{исх}}$  – исходная площадь «доразведываемой» ячейки;  $\lambda_{\text{пр}}$ ,  $\lambda_{\text{исх}}$  – значение критерия разведанности требуемое и исходное,  $a$  – свободный член уравнения кривой разведанности.



**Рисунок 1 – Картограмма разведанности гипсометрии пласта (а) и зависимость  $\lambda$ -критериев разведанности от площади ячейки скважин  $S$  (б) с оценкой ее фрактальной размерности  $D$  (в) по участку в целом и в районе участка пониженной разведанности «А» (г и д)**



Выполненный анализ сырьевой базы действующих угледобывающих предприятий показал, что промышленные запасы угля технологических марок ДГ, ГЖО, КЖ, К, КО, ОС, ТС для подземного способа выше, чем для открытого способа, темпы отработки которого выше подземного (рисунок 2). Причем высокоценные марки разведанных запасов углей КО, КСН, КС, ТС имеются только в Кузбассе. Основная часть запасов этих марок углей заключается в пластах, залегающих в достаточно сложных горно-геологических условиях (2-ой и 3-ей групп сложности геологического строения), эффективная и безопасная отработка которых предполагает использование нетрадиционных технологий добычи.

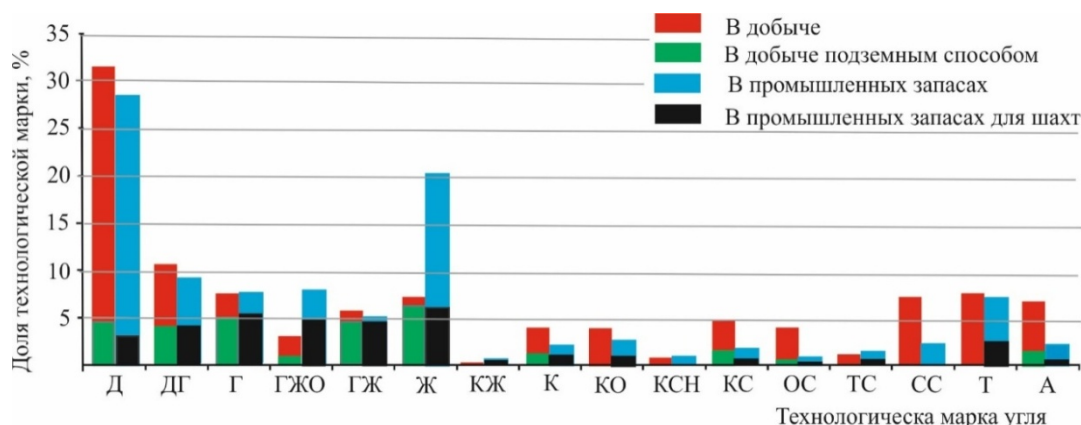


Рисунок 2 – Долевое участие подземного способа в добыче и промышленных запасах различных технологических марок углей

#### Безреагентный способ модификации поверхности угольных частиц перед флотацией.

Разработана методика безреагентной гидрофобизации угольной поверхности перед флотацией с использованием микропузырьковой газожидкостной суспензии. Исследованы условия формирования микропузырьков и определены предельные размеры флотируемых микропузырьками угольных частиц (рисунок 3).

Показано, что добавка микропузырьков приводит к образованию на поверхности угля промежуточного гидрофобного воздушного слоя, который является основой для закрепления транспортных пузырей флотационного размера. Установлено, что эффективность безреагентной микропузырьковой флотации мелких фракций угля (<0,1 мм) сопоставима с результатами обогащения угля с использованием традиционных аполярных и комплексных реагентов (рисунок 4).

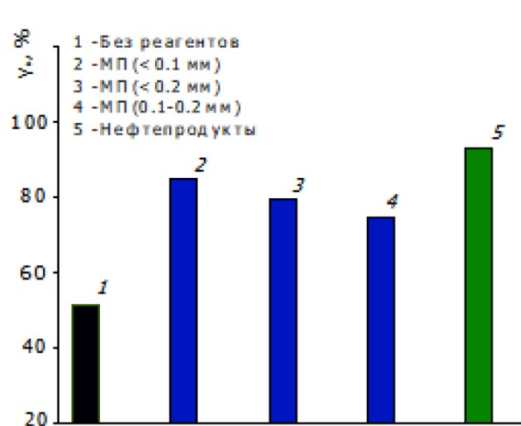


Рисунок 3 – Выход концентрата при обогащении угля с использованием безреагентной, микропузырьковой (МП) и реагентной с нефтепродуктами флотации

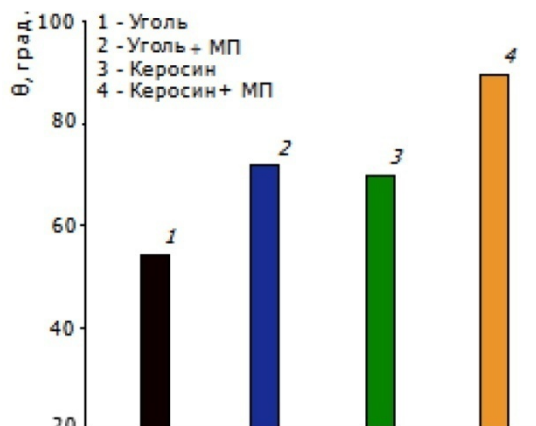


Рисунок 4 – Зависимость угла смачивания от типа обработки угольной поверхности

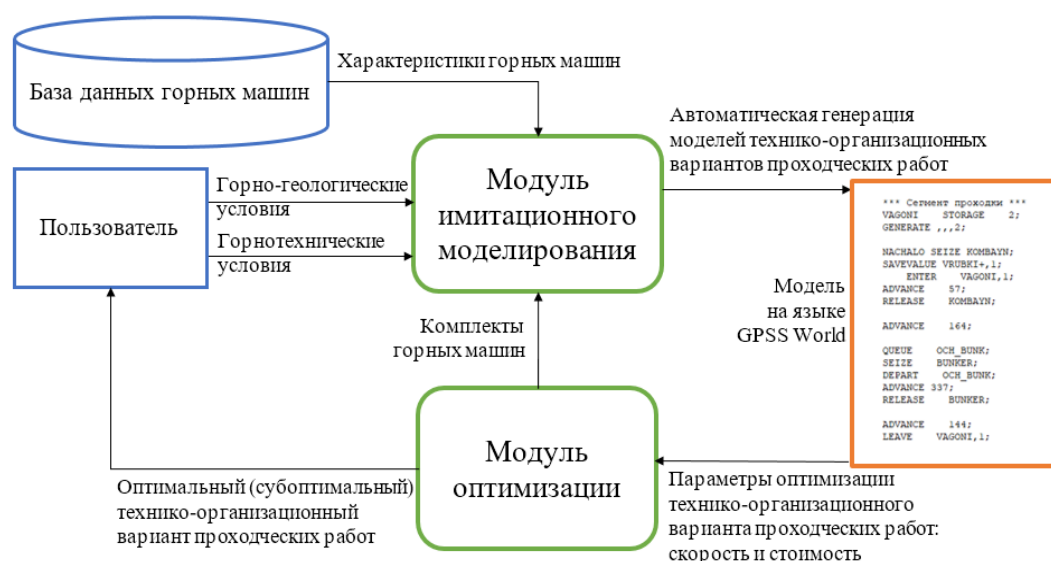
**Программный модуль, позволяющий на основе введенных пользователем горно-геологических и горнотехнических условий, автоматически генерировать возможные технико-организационные варианты технологий проведения горных выработок буровзрывным и комбайновым способами. Программный модуль, позволяющий автоматически определять оптимальный технико-организационный вариант проходческих работ для заданных горно-геологических и горнотехнических условий.**

Разработаны два взаимосвязанных программных модуля в среде Microsoft Visual Studio (рисунок 5):

1. «Модуль имитационного моделирования», позволяющий на основе введенных пользователем горно-геологических и горнотехнических условий, автоматически выбирать из базы данных подходящие характеристики горнопроходческих машин, генерировать имитационную модель для отображения технико-организационных вариантов технологий проведения горных выработок буровзрывным и комбайновым способами, а также проводить вычислительные эксперименты при помощи ядра моделирования GPSS World и определять для каждого варианта параметры технологии – скорость и стоимость проходки метра выработки.

2. «Модуль оптимизации», позволяющий с использованием комплексного аддитивного нормированного критерия оптимизации, основанного на минимизации удельной скорости и стоимости проходки метра выработки, автоматически определять оптимальный технико-организационный вариант проходческих работ для заданных горно-геологических и горнотехнических условий.

Полученные результаты позволяют перейти к созданию компьютерной системы, позволяющей решать трудноформализуемые задачи выбора технико-организационных вариантов высокоэффективных технологий проведения горных выработок.

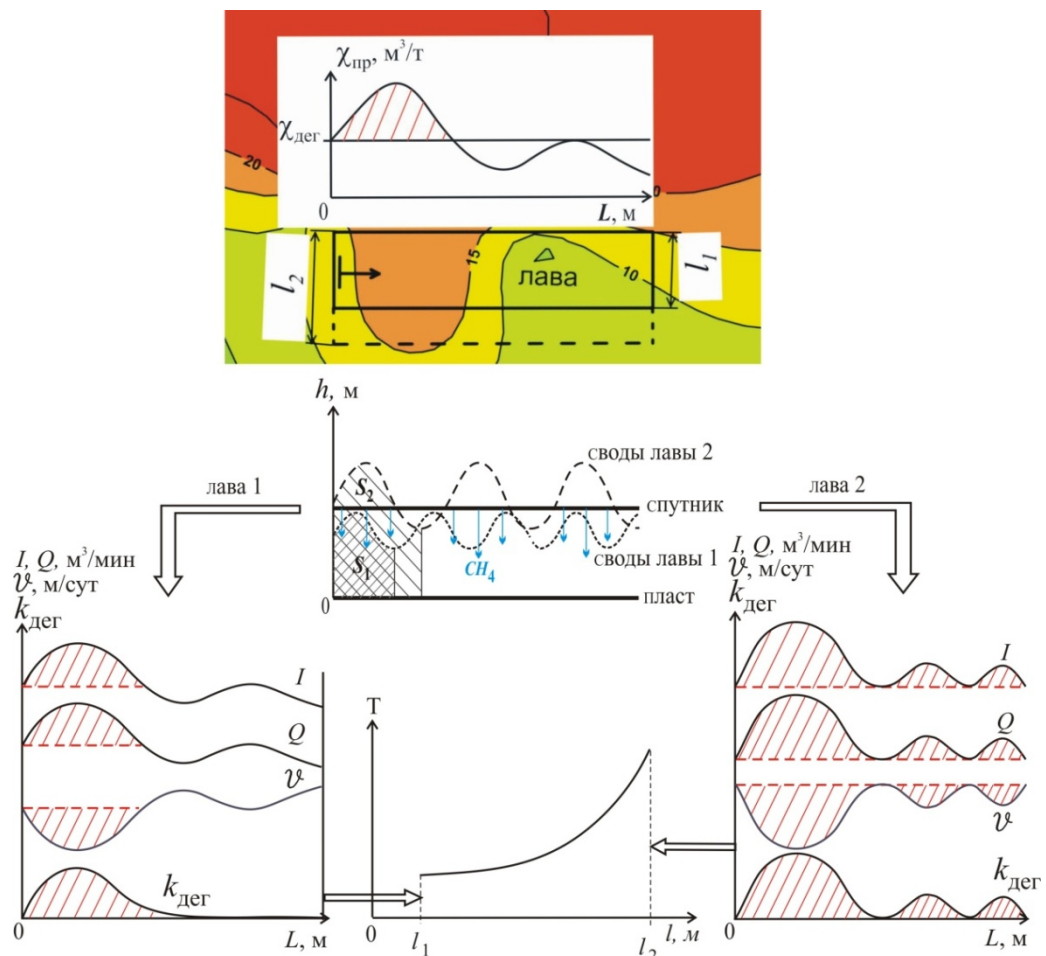


**Рисунок 5 – Модули системы имитационного моделирования технологий проведения горных выработок**

**Создание научно-методической основы прогноза и контроля газодинамической реакции пластов при разработке угольных месторождений и оперативного уточнения безопасных (по газовому фактору) режимов работы забоев путем поиска взаимосвязи природных свойств углей с их газосодержанием (при постоянных механических нагрузках) и характером газовыделения из них (при снижении механических нагрузок)**

Созданы научные основы метода, позволяющего проводить комплексный учет свойств углей, газосодержания (при постоянных напряжениях), характера газовыделения (при снижении напряжений) в условиях техногенной нелинейной структуризации массива. Это позволяет заблаговременно, до начала ведения горных работ, проводить расчет безопасных по газовому

фактору технологических параметров подготовительных и очистных забоев, обрабатывающих пологие пласты с полным обрушением кровли, и оперативно уточнять режимы их работы. Впервые получен комплексный показатель (рисунок 6), отражающий взаимосвязь горно-геологических, газокинетических свойств углей, протяженности подготовительных выработок и геометрических размеров выемочных участков, их производительности и трудозатрат на обеспечение безопасности горных работ.



**Рисунок 6 – Схема к обоснованию безопасных (по газовому фактору) технологических параметров подготовительных и очистных забоев**

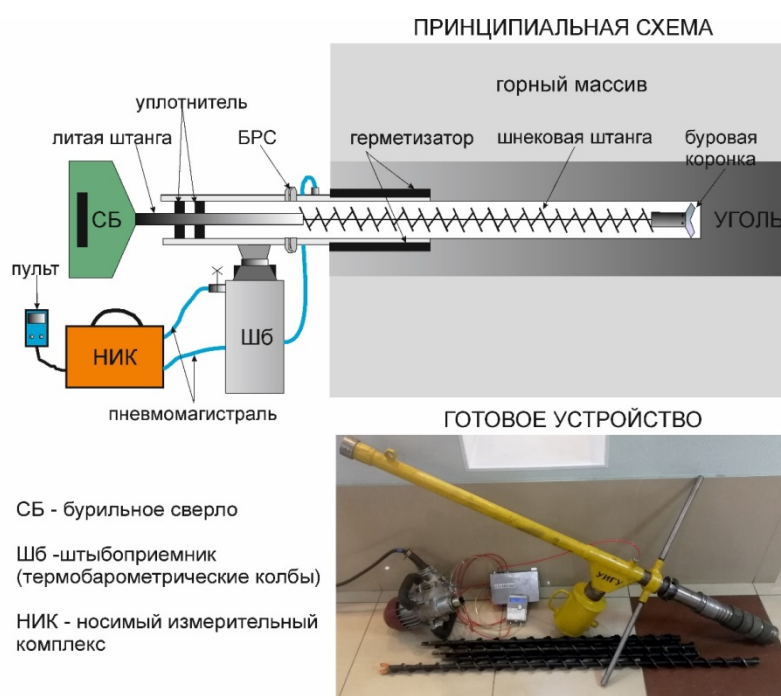
$\chi_{пр}$  – природная газоносность пласта (газосодержание),  $м^3/т$ ;  $\chi_{дег}$  – газоносность пласта, превышение которой (согласно ПБ), требует применение дегазации,  $м^3/т$ ;  $L$  – длина выемочного столба,  $м$ ;  $l_1, l_2$  – длина лавы 1, 2, соответственно, ( $l_1 > l_2$ ),  $м$ ;  $h$  – высоты сводов в зоне разгрузки массива,  $м$ ;  $S_1, S_2$  – удельная (на 1 м длины лавы) площадь массива (в вертикальном сечении), попадающего в зону разгрузки лавы 1, 2,  $м^2$ ;  $I$  – абсолютная метанообильность выработки,  $м^3/мин$ ;  $Q$  – расход воздуха для проветривания выработки,  $м^3/мин$ ;  $v$  – скорость продвижения выработки,  $м/сут$ ;  $k_{дег}$  – необходимый коэффициент дегазации;  $T$  – комплексный показатель, отражающий взаимосвязь горно-геологических, газокинетических свойств углей, протяженности подготовительных выработок и геометрических размеров выемочных участков, их производительности и трудозатрат на обеспечение безопасности горных работ.

#### Устройство для оперативного измерения газоносности угольного пласта и мониторинга его газодинамических (энергетических) показателей

Невысокая точность определения газоносности с применением существующих методов прямого замера газоносности угольного пласта из горных выработок с применением керноотборников, в первую очередь, связана с расчетом объема упущенного газа до момента герметизации керна.

В Институте угля созданы метод и устройство замера газоносности угольного пласта, обладающие высокой точностью и полным замером содержащегося в пробе газа с момента ее выбуривания (при бурении шпура на расстоянии 4-6 метров от кромки пласта в забое подготовительной выработки) и до герметизации в термобарометрическую колбу (штыбоприемник). Устройство применяется на угледобывающих предприятиях для высокоточного прямого метода замера газоносности угольного пласта для обоснования комплекса мероприятий по управлению газовыделением на выемочных участках и подготовительных выработок. Также предназначено для научных и инженерно-технических работников, занятых научными экспериментами в области изучения газокинетических процессов и определения газоносности угольных пластов.

Устройство позволяет фиксировать до 20-ти газокинетических и газодинамических характеристик «природного углеметана», что дает возможность получить новые знания о свойствах пористой структуры угля. Устройство оснащено электронными термобарическими датчиками; автономной микропроцессорной системой; металлическим корпусом, обеспечивающим герметичный отбор проб; буровым станком; комплектом штанг с буровой коронкой; штыбоприемником (рисунок 7).



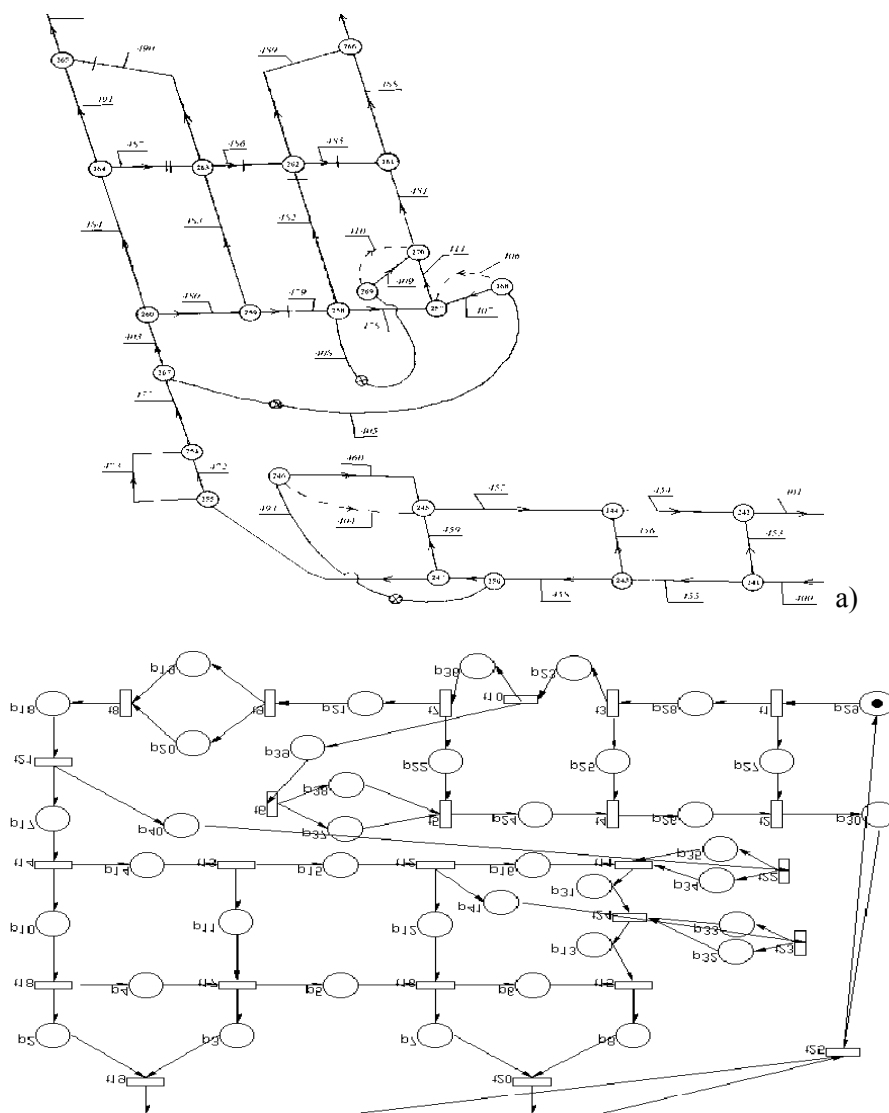
**Рисунок 7 – Принципиальная схема и вид «Устройства для оперативного измерения газоносности угольного пласта и мониторинга его газодинамических (энергетических) показателей»**

**Усовершенствование методов расчета проветривания действующих выработок шахты и метановыделения из выработанных пространств отработанных полей и действующих очистных участков через негерметичные изолирующие сооружения с целью управления газовыделением, снижения нагрузки на вентиляционную сеть и повышения эффективности дегазации выработанных пространств**

Обоснован методологический подход к построению моделей искусственного воздухо-распределения в горных выработках угольных шахт на основе их сетевого представления двудольными ориентированными графами. Показано, что распределение воздуха в действующих выработках определяется путем поиска замкнутых контуров вентиляционной сети, соответствующих позиционным полупотокам сети Петри, и применением метода последовательных приближений. При этом минимальное порождающее семейство векторов – позиционных инвариантов определяет систему независимых ориентированных контуров маркированного графа,



изоморфных ансамблю независимых траекторий движения воздушных потоков в горных выработках. Разработанный подход применен для расчета вентиляционной схемы угольной шахты (рисунок 8, а), расположенной в северной части Кемеровского геолого-экономического района Кузбасса. Этой схеме сопоставлена сеть Петри  $N$  (рисунок 8, б), содержащая три стоковых и одну истоковую позиции, а также три позиции, отображающими функционирование вентиляторов местного проветривания. Начальная маркировка сети  $N$  представлена на рисунке 8, б. Найденные решения системы линейных уравнений, соответствующих  $S$ -инвариантам сети, методом Гаусса, позволили установить воздухораспределение в рассмотренной сети горных выработок, изменяющееся от  $-0,1$  до  $26,8$  м/с. Найденное численное решение подтверждено данными воздушной съемки в сети горных выработок со сходимостью 2%.

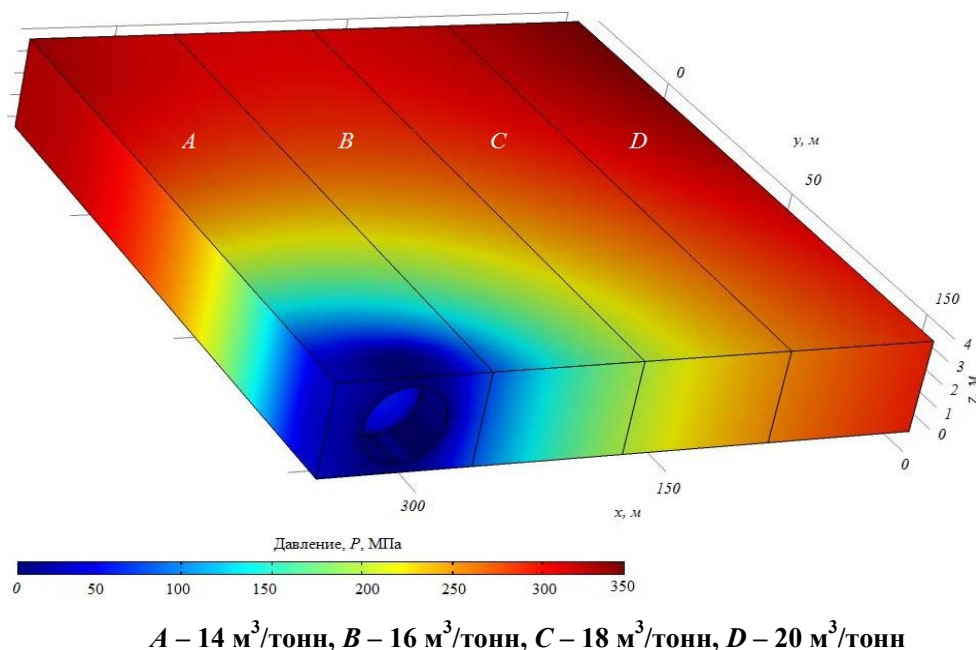


**Рисунок 8 – Графическое представление схемы проветривания горных выработок**  
*а) – однодольный ориентированный граф; б) – сеть Петри  $N$*

Компьютерная реализация разработанного подхода к поиску воздухораспределения горных выработках угольных шахт с применением сетей Петри, моделирующих структуру горных выработок, и выделением независимых контуров с использованием алгоритма, основанного на линейных преобразованиях матрицы инцидентности, выполнена в виде отдельного вычислительного модуля, который позволяет формировать обменный файл для использования в программах «Вентиляция» и «Дегазация» и обеспечивающего возможность совместного расчета проветривания действующих выработок шахты.

**Разработка метода определения содержания метана в углеродном массиве на основе сейсмоакустического профилирования и совместного исследования коллекторских свойств угольных пластов с последующей стимуляцией их газоотдачи и утилизацией шахтного метана для снижения техногенной нагрузки на окружающую среду процессов угледобычи**

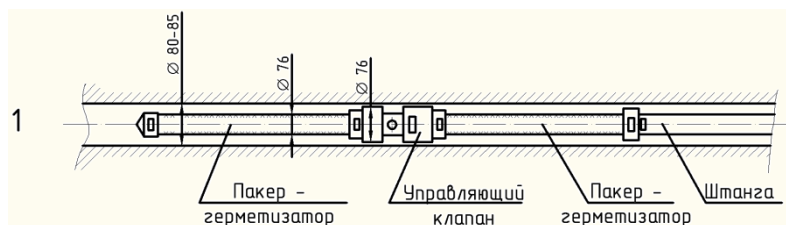
Разработан комплексный метод определения газоносности и фильтрационных свойств угольных пластов, основанный на прямых измерениях содержания метана в пробах угля, которые отбираются из оконтуривающих выемочных столбов горных выработок, и регистрации относительного изменения проницаемости в скважинах пластовой дегазации при гидродинамическом воздействии на угольный пласт. Установлено, что угольные пласты северо-западной части Ленинского горно-экономического района Кузбасса характеризуются высокой анизотропией газоносности в пределах выемочного поля (до 27%). Показано и подтверждено сейсмоакустическим профилированием выемочного столба в шахтных условиях, что проницаемость угольных пластов после гидродинамического воздействия может увеличиваться на порядок. Выявлено соответствие между изменением коллекторских свойств и разупрочнением углеродного массива, характеризующегося повышенной трещиноватостью. На основе натуральных и лабораторных измерений остаточной газоносности и проницаемости угольных пластов построена численная модель, описывающая стационарный процесс метановыделения из свежееобнаженной поверхности угольного пласта в очистной забой. Область газового дренирования рассматриваемого выемочного участка разбита на блоки с изменяющейся остаточной газоносностью 14–20 м<sup>3</sup>/тонн и постоянной проницаемостью 2 мД (рисунок 9). Модельная геофильтрационная среда представлена в виде цилиндра с площадью основания, соответствующей суммарной площади сечения трещин, через которые метан фильтруется из угольного пласта в очистной забой. В численных экспериментах найдено, что газоотдача угольного пласта на выемочном участке при заданных начальных и граничных условиях изменяется от 0,37 м<sup>3</sup>/мин до 0,41 м<sup>3</sup>/мин.



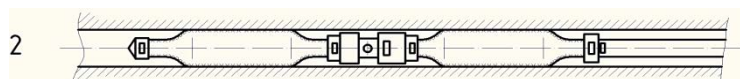
**Рисунок 9 – Трехмерное представление изменения давления газа  $P$  по длине очистного забоя  $x$  при анизотропии остаточной газоносности выемочного столба**

### **Технология и оборудование реализации поинтервального гидроразрыва угольного пласта через скважины для интенсификации дегазации**

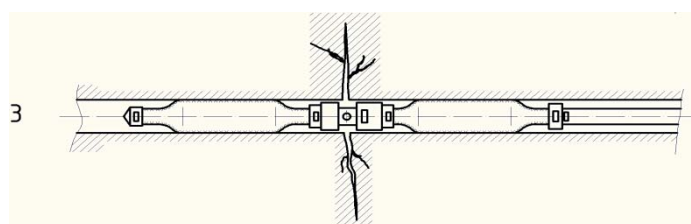
Анализ отечественного и зарубежного опыта проведения операций гидроразрыва угольных пластов с целью интенсификации дегазации позволил обосновать схему поинтервального гидроразрыва угольного пласта, позволяющую создать в массиве протяженные трещины гидроразрыва вкрест простирания пласта (рисунки 10-13).



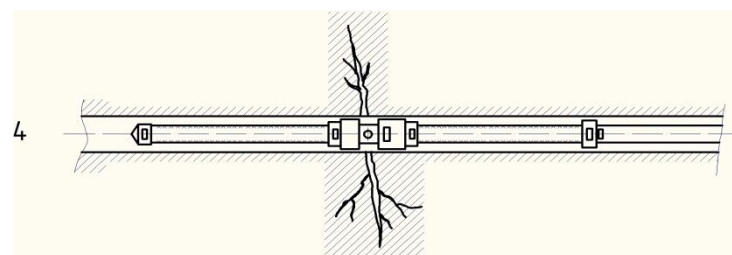
**Рисунок 10 – Технологическая схема реализации поинтервального гидроразрыва угольного массива: 1 – ввод пакера в скважину**



**Рисунок 11 – герметизация скважины**



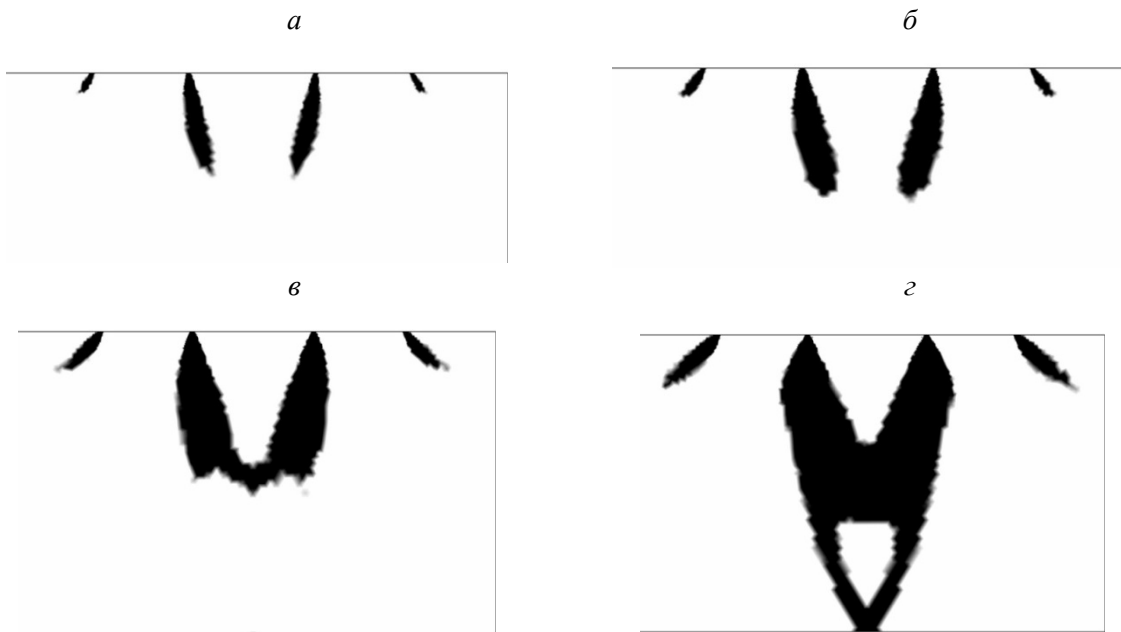
**Рисунок 12 – гидрорасчленение угольного массива**



**Рисунок 13 – разгерметизация скважины и перемещение пакера**

Распор пакеров сжимает горизонтальные трещины и исключает разрыв пласта по этим трещинам на более удаленное расстояние, где вертикальные трещины пересекают горизонтальные и в них под давлением проникает жидкость раскрывая существующие трещины в режиме гидрорасчленения (микроразрывы). Они в дальнейшем могут пережиматься вновь, но новые образованные вертикальные трещины под действием горного давления не схлапываются, а развиваются (сохраняются). Происходит наведенная технологическая трещиноватость в пласте в том числе за счет раскрытия под давлением существующих трещин. Наилучший результат, когда трещина гидроразрыва перпендикулярно пересекает естественную трещиноватость.

Предложен метод расчета растягивающих усилий. Для описания реакции среды на внешние воздействия использована упругопластическая модель Кулона-Мора, описывающая зависимость касательных напряжений материала от величины приложенных нормальных напряжений, выполнен расчет зон пластического течения, в которых значения напряжений превысили критические значения. Математическим моделированием и численными экспериментами установлено, что применение разработанного пакера в технологии поинтервального гидроразрыва угольных пластов позволяет эффективно создавать развитую систему искусственных трещин, обеспечивающих повышение проницаемости прискважинной зоны и газовыделения в ее границах. Появление дополнительных касательных напряжений на контактах между герметизирующими элементами и горной породой определяют условие возникновения поперечных трещин гидроразрыва (рисунок 14).



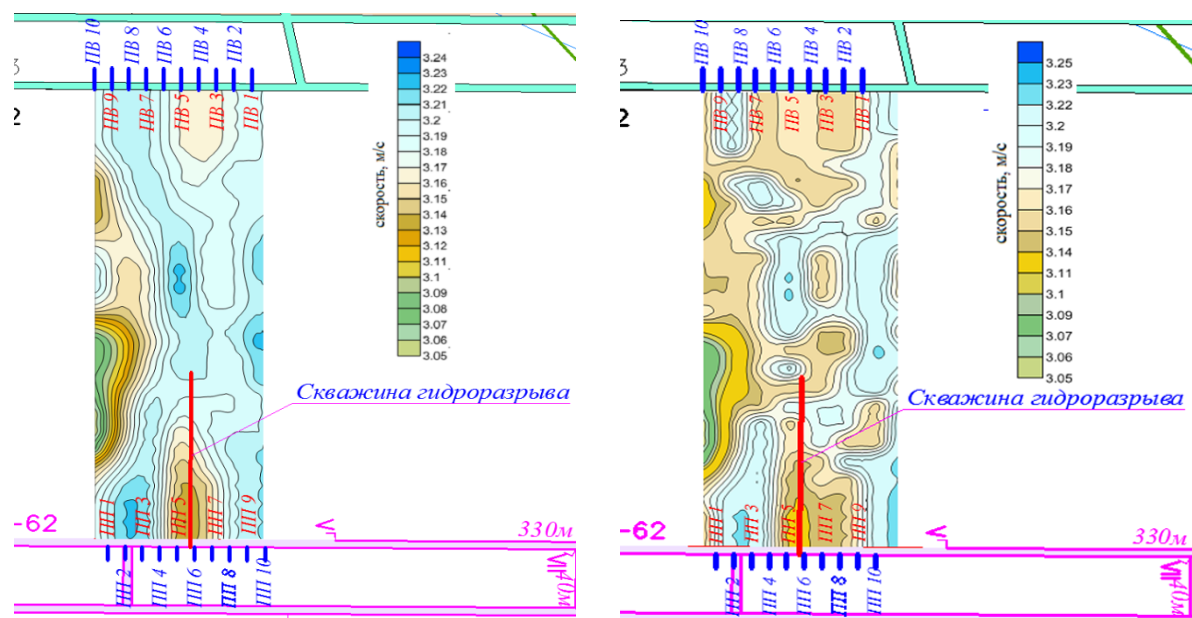
**Рисунок 14 – Развитие зон пластических деформаций при нагружении образца без инициирующей щели с заданием касательных напряжений на контактах пакеров с горной породой**

Для реализации технологии ориентированного поинтервального гидроразрыва пласта для интенсификации газовыделения в необсаженных дегазационных скважинах диаметром более 76 мм, пробуренных в угольный пласт из подземных горных выработок, предложено и разработано устройство разрывное (рисунок 15), которое включает в себя два упруго расширяющегося рукава 1,2 диаметром 76 мм, между которыми установлен распределитель давления золотникового типа 3, предназначенный для регулирования давления рабочей жидкости в гидросистеме разрывного устройства. Причем длина распределителя давления не превышает 2-х диаметров скважины, что является главным фактором при формировании вертикальных трещин гидроразрыва.



**Рисунок 15 – Разрывное устройство**  
*1,2- упруго расширяющиеся рукава, 3-межпакерный клапан, 4-наконечник запорный, 5-муфта присоединительная*

Экспериментально, в условиях выемочного участка № 24-62 на шахте «им. С.М. Кирова» АО «СУЭК-Кузбасс» в соответствии с разработанными «Методическими рекомендациями...» установлено, что гидроразрыв угольного пласта в пределах интервала герметизации пластовой скважины представляет собой процесс последовательно повторяющихся импульсов роста и падения давления нагнетаемого флюида, соответствующих процессу интенсивного развития трещин. В исследованиях методом сейсмического просвечивания зафиксировано снижение скорости распространения звуковых волн в прискважинной зоне после проведения поинтервального гидроразрыва угольного пласта, подтверждающее разупрочнение угольного пласта и повышение его проницаемости (рисунок 16).

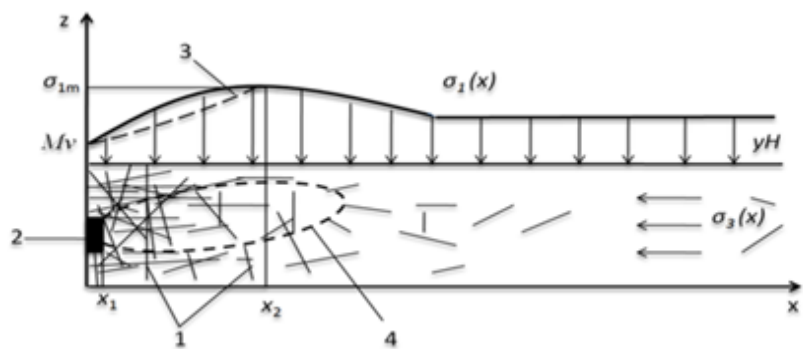


**Рисунок 16 – Геофизический разрез распределения скоростных характеристик в области выемочного столба 24-62 до (а) и после (б) проведения поинтервального гидроразрыва**

**Методика определения критерия выбросоопасности усовершенствованным спектрально-акустическим методом, учитывающая основные факторы выбросоопасности.**

Впервые для геофизического метода прогноза выбросоопасности разработана научно обоснованная Методика экспериментально-аналитического определения критерия выбросоопасности.

Для 2-х этапной модели подготовки выброса (1-й этап – развитие трещин; 2-й этап – выдавливание слоя угля из устья полости выброса) (рисунок 17) обоснован единый критерий выбросоопасности (рисунок 18), учитывающий горное давление, внутрипластовое давление газа (выраженное через концентрацию метана  $\Omega$ ), прочность угля ( $q$ ), акустические свойства массива (параметр  $C$ ), фильтрационно-коллекторские свойства угля (параметр  $\Delta$ ).



**Рисунок 17 – Двухэтапная модель подготовки выброса 1 – растущие трещины; 2 – выдавливаемый слой угля из устья полости выброса (4);  $\sigma_1(x)$  и  $\sigma_3(x)$  – соответственно вертикальная и горизонтальная компоненты нормальных напряжений**



$$K_{i,c} = \exp \left\{ -Cd \left[ \frac{P_1}{0.1 \left( \frac{q}{110-q} \right) P_1 - \Delta D \sqrt{\frac{Q\Omega}{\xi}}} \right] \right\}$$

**Рисунок 18 – Критерий выбороопасности**

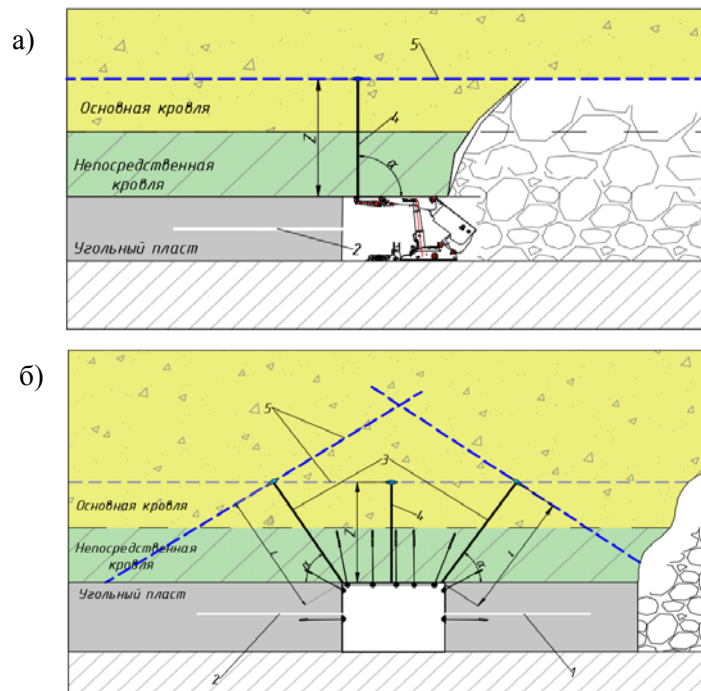
Критерий выбороопасности (рисунок 18) содержит интегральные коэффициенты, определяющие фильтрационно-коллекторские свойства угля, концентрацию метана у забоя выработки, горное давление и прочность угля. Разработанная Методика позволяет экспериментально определить эти коэффициенты по данным, полученным при одновременном определении показателей выбороопасности спектрально-акустическим и инструментальными методами (по начальной скорости газовыделения и выхода буровой мелочи при бурении контрольных шпуров), в одном и том же забое выработки.

завыделения и выхода буровой мелочи при бурении контрольных шпуров), в одном и том же забое выработки.

**Метод управления горным давлением в очистных и подготовительных забоях за счет совместного разупрочнения труднообрушаемой кровли и создания компенсационных скважин в угле.**

Разработан комплексный метод управления горным давлением в очистных и подготовительных забоях, основанный на разупрочнении пород основной кровли пласта и создания компенсационных разгрузочных скважин в угле. Непрерывные инструментальные наблюдения по оценке напряженно-деформированного состояния межлавного целика, краевой части пласта и вмещающих пород с помощью геофизической аппаратуры и прогноза удароопасности показали, что бурение разгрузочных скважин в межластный целик является эффективным в борьбе с горными ударами только в комплексе со снятием нагрузки от зависающей консоли песчаника, залегающего в породах основной кровли разрабатываемого угольного пласта.

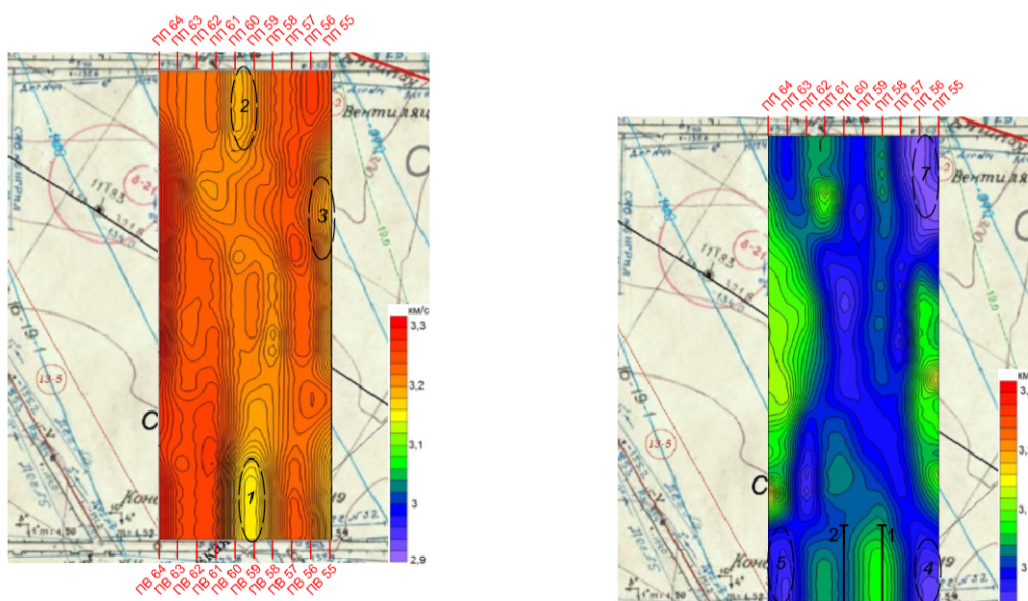
С целью исключения зависания пород основной кровли пласта в выработанном пространстве наряду с бурением разгрузочных скважин производились работы по разупрочнению пород кровли методом направленного гидроразрыва по схемам, представленным на рисунке 19.



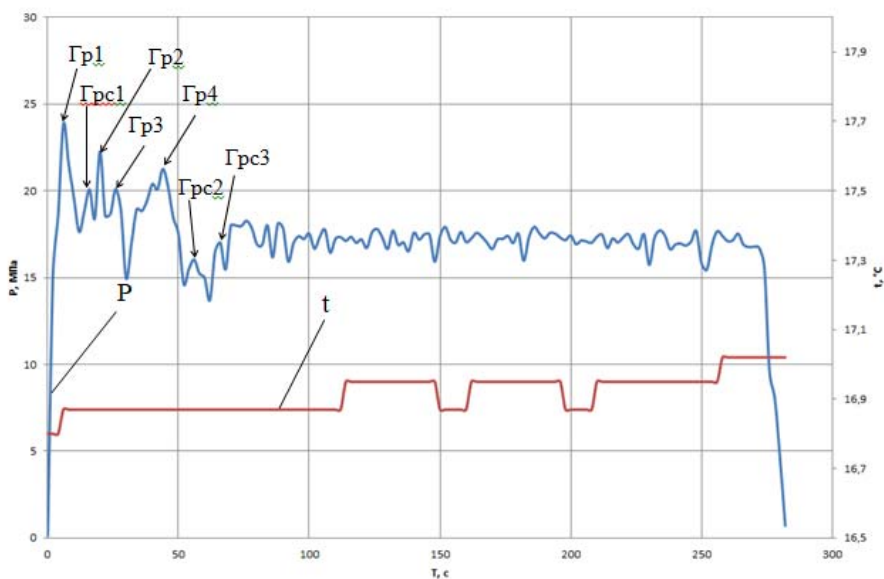
**Рисунок 19 – Схема комплексного управления горным давлением из очистного забоя (а) и из подготовительного штрека (б)**

- 1,2- разгрузочные скважины, пробуренные из штрека в целик и выемочный столб;*
- 3,4 – скважины для гидроразрыва кровли вкрест простирания и по слоистости;*
- 5 – трещины гидроразрыва (радиусом до 25 м); Z – глубина заложения иницирующей щели;*
- α – угол наклона скважины к горизонту; l – длина скважины*

Геофизические исследования показали, что создание протяженных направленных трещин в породах кровли пласта в комплексе с мероприятиями по бурению разгрузочных скважин в пласте обеспечивает его разгрузку от горного и газового давления (рисунки 20 и 21).



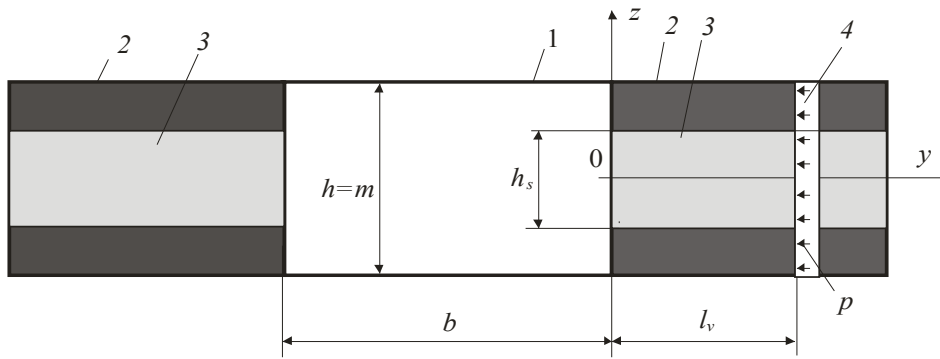
**Рисунок 20 – Результаты измерения скоростей прохождения сейсмических волн до гидроразрыва (а) и после гидроразрыва (б)  
1, 2 – скважины направленного гидроразрыва**



**Рисунок 21 – Изменение давления P и температуры t во время нагнетания рабочей жидкости**

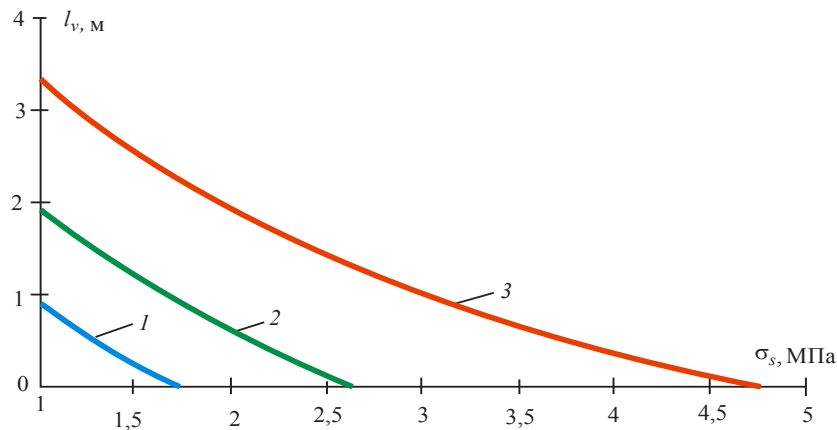
**Графическое представление результатов влияния каждого из основных факторов на вероятность геодинамических проявлений в массиве.**

Разработана модель критического состояния «слабого» выбросоопасного слоя газоносного угольного пласта (рисунок 22). Она построена на фундаментальных подходах механики деформируемого твёрдого тела и обеспечивает проведение широкомасштабных теоретических исследований и получение достоверных оценок о состоянии угольных пластов, имеющих геологические нарушения в виде перемятых слоёв и коллекторов, наполненных метаном.



**Рисунок 22 – Расчётная схема пластовой выработки со «слабым» слоем  
1 – выработка, 2 – угольный пласт, 3 – «слабый» слой, 4 – коллектор метана**

На рисунке 23 каждый график является зависимостью критической длины слоя  $l_v$  от его предела прочности на сжатие  $\sigma_s$  для нескольких значений его мощности  $h_s$ . График 1 построен при  $h_s=0,4$  м, график 2 – при  $h_s=0,7$  м, а график 3 –  $h_s=1,0$  м. Все графики получены по результатам расчётов с параметром порового давления метана  $t=0,2$ . Давление метана  $p$  изменяется согласно зависимости  $p(y) = p_0 + (p_\infty - p_0) \text{th}(t \cdot y)$  ( $p_0$  – атмосферное давление,  $p_\infty$  – давление на бесконечности). Видно, что с увеличением  $h_s$  значительно возрастают характеристики прочности слоя, при которых возможен выброс. Так, например, в слое с  $h_s=1$  м, выброс происходит при сравнительно прочном слое, соответствующим  $\sigma_s=4,76$  МПа ( $\sigma_s$  – предел прочности на сжатие «слабого» слоя).



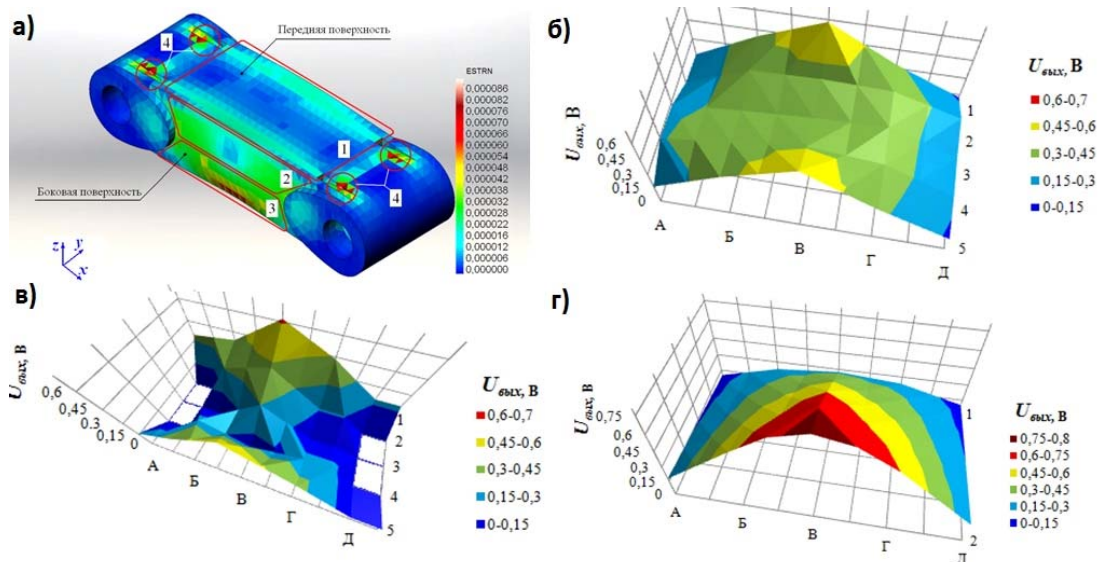
**Рисунок 23 – Графики изменения основных параметров в предельной зоне пласта  
Глубина заложения выработки  $H=800$  м, объёмный вес пород  $\gamma=25$  кН/м<sup>3</sup>, предел прочности пласта на сжатие  $\sigma_0=10$  МПа, на растяжение  $\sigma_p=1$  МПа,  $h=m=3$  м,  $b=5$  м**

### **Многофункциональная автоматизированная тензометрическая система для оценки нагруженности секций механизированной крепи.**

Для оценки нагруженности элементов металлоконструкций элементов секции механизированной крепи разработана методика определения характеристик преобразования съемных тензометрических преобразователей (СТП), оценки влияния способа их закрепления и стабильности измерений механических напряжений арочными преобразователями.

Разработана методика проведения экспресс-анализа по экспериментальному определению деформаций элемента металлоконструкции секции арочными СТП. Особенностью ее является возможность в произвольном месте элемента металлоконструкции секции механизированной крепи проводить исследования деформаций по оси, совпадающей с осью СТП, и наглядно визуализировать напряженное состояние исследуемой поверхности. Результаты выполненных лабораторных измерений по оценке загруженности рычага траверсы секции крепи представлены на рисунке 24.





**Рисунок 24 – Результаты экспресс анализа нагруженности рычага траверсы при поперечном изгибе**

*а – расчетное моделирование МКЭ; б – оценка нагруженности передней поверхности по оси X; в – боковой поверхности по оси X; г – боковой поверхности по оси Y*

Обоснованы параметры и состав макета многофункциональной автоматизированной тензометрической системы в состав которой входят различные варианты преобразователей и комплект из пяти программ для визуализации и обработки данных измерений, в т.ч. одной авторской «Стенд-Инфо». Макет обеспечивает возможность быстрой комплектации, переустановки и настройки системы тензометрического контроля для проведения стендовых исследований элементов металлоконструкций секции механизированной крепи. При этом оригинальная схема усилителя позволяет варьировать сигналом для оперативной подстройки.

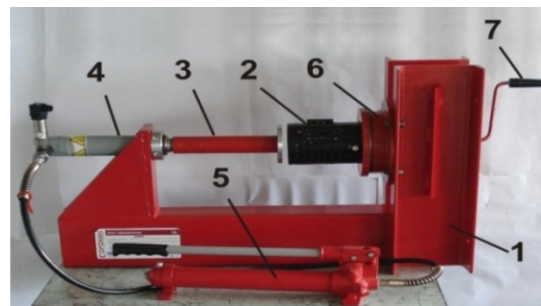
**Параметры элементов роботизации комбинированных исполнительных органов горных машин.**

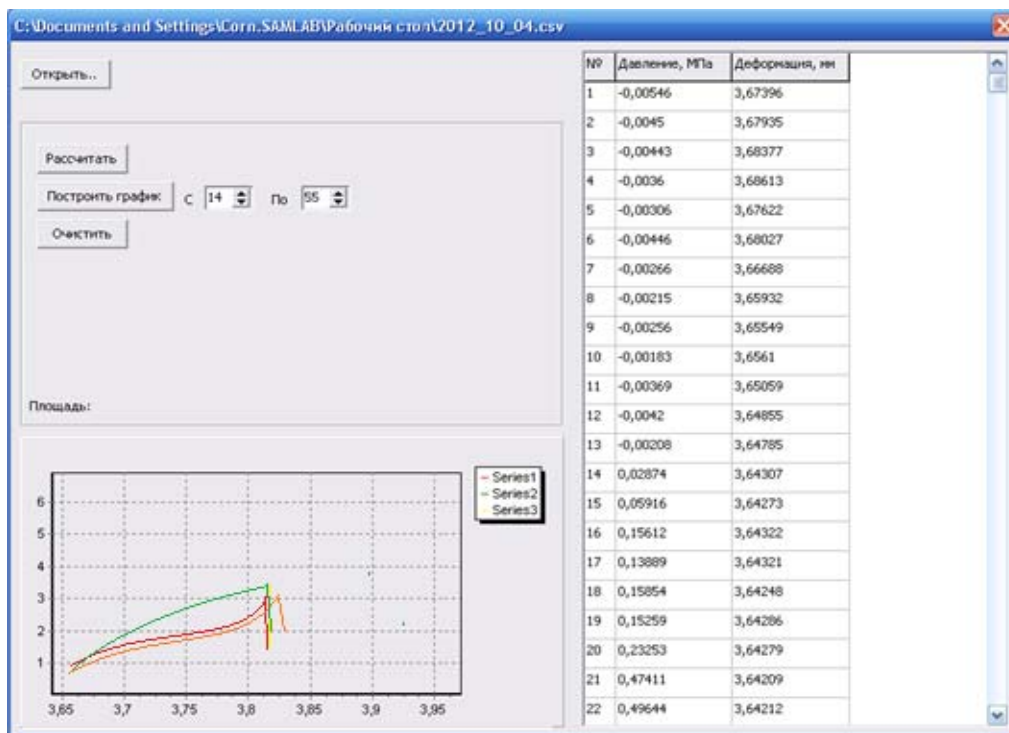
Для определения энергоемкости разрушения горных пород разработана установка, реализующая способ определения энергоемкости на образцах неправильной формы определенного объема с последующим раздавливанием их на жестком нагружающем устройстве до заданной степени диспергирования, при одновременном удалении из зоны разрушения частиц, достигших заданных размеров (рисунок 25).

В процессе разрушения испытуемых образцов горной породы осуществляется регистрация усилия на пуансоне и его перемещение и регистрируется диаграмма сжатия. Работа, затраченная на разрушение горной породы, определяется как площадь под диаграммой, а энергоемкость – как удельная работа, приходящаяся на единицу объема исходного образца.

Для обработки результатов экспериментов разработано программное обеспечение Энергомер v1.0, интерфейс которого показан на рисунке 26.

**Рисунок 25 – Лабораторный стенд для определения энергоемкости разрушения горной породы**  
*1 – станина; 2 – перфорированный стакан; 3 – пуансон; 4 – нагрузочный гидроцилиндр; 5 – ручной насос; 6 – опора с радиально-упорным подшипником; 7 – ручка для вращения стакана*





**Рисунок 26 – Интерфейс программного обеспечения Энергомер v1.0**

Одним из достоинств разработанного программного обеспечения является возможность построения как полной диаграммы деформации и разрушения, так и ее части с вычислением работы, затраченной на разрушение посредством подсчета площади под диаграммой.

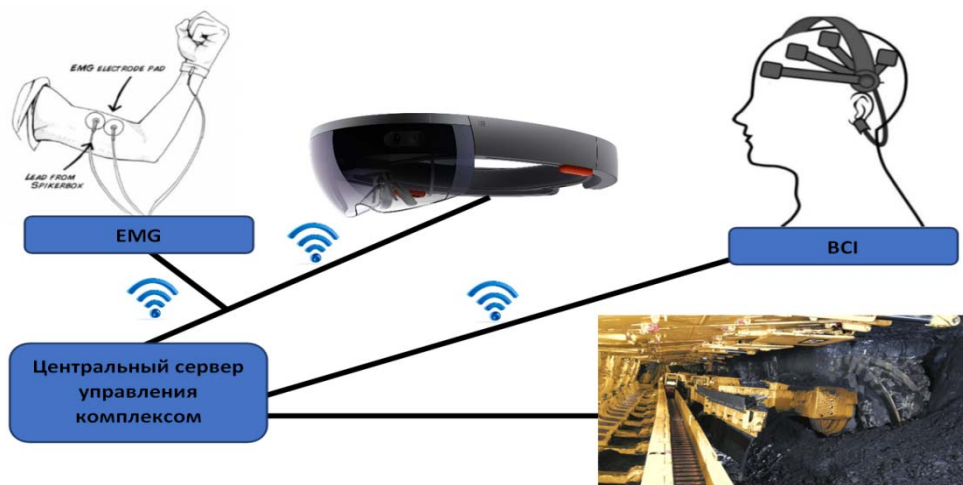
#### **Управление механизированным комплексом с роботизированной системой выпуска угля подкровельной толщи.**

Основные элементы роботизации предполагают наличие трех уровней:

- АСУ ГП – автоматизированная система управления горного предприятия (высший уровень);
- АСУ РА – автоматизированная система управления роботизированной системой выпуска;
- РА – роботизированная система выпуска.

По глубине автоматизации и функциональности системы управления для механизированных комплексов с роботизированной системой выпуска угля подкровельной толщи предлагается реализовать на нескольких уровнях (рисунок 27):

- «система диспетчеризации» – комплекс программных и аппаратных средств, позволяющий осуществлять удаленный мониторинг и управление инженерными системами одного или нескольких механизированных комплексов с роботизированной системой выпуска (дистанционное управление);
- «система на основе адаптивных технологий» – передача функций автоматического управления (поддержания в заданных диапазонах) параметрами технологического процесса программно-аппаратному комплексу механизированного комплекса с роботизированной системой выпуска, с возможностью оператора удаленно осуществлять их прямое регулирование из диспетчерского пункта;
- «система управления на базе интерфейса Brain computer interface (BCI)» – система адаптивного автоматизированного управления, с возможностью удаленного регулирования на основе технологии управления сознанием «Mind control» или «Concentration control».



**Рисунок 27 – Схема управления роботизированным агрегатом на базе совмещения технологий нейрокомпьютерного интерфейса и дополненной реальности**

**Численные эксперименты и стендовые исследования по моделированию гравитационного движения предварительно раздробленной горной массы через выпускное отверстие секции механизированной крепи.**

Исследована кинематика и динамика процесса выпуска, силовые нагрузки, возникающие при взаимодействии горной массы с элементами крепи, а также влияние положения заслона и конфигураций питателя на массовый расход угля и пустой породы.

*Выпуск угля при отсутствии заслона и неработающем питателе*

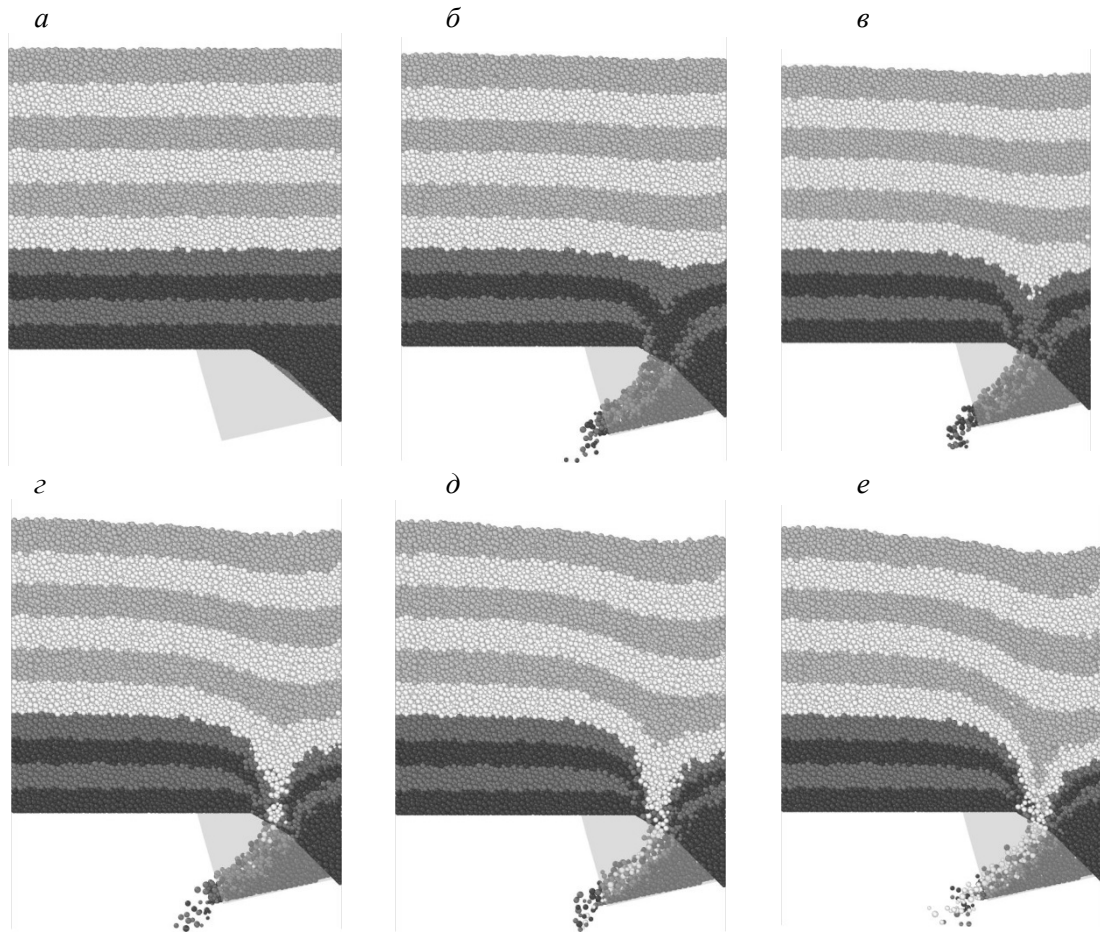
В первой серии экспериментов в секции крепи отсутствовал заслон, ограничивающий скорость и объем потока сыпучего материала. Питатель в этом случае был неподвижен. В начальный момент времени при отсутствии заслона и выключенном питателе открывалось выпускное отверстие и материал из состояния, представленного на рисунке 28, приходил в движение под действием силы тяжести.

*Кинематические картины выпуска и оценка производительности*

На рисунке 28 представлены деформационные картины гравитационного выпуска угля и пустой породы в фиксированные моменты времени в случае гладкого неподвижного питателя (конфигурация П0). Видно, что при отсутствии ограничений на скорость и объем потока горной массы со стороны секции механизированной крепи, частицы породы, превышающие по плотности частицы угля, проникают в зону потока, вызывая разубоживание и большие потери полезного ископаемого.

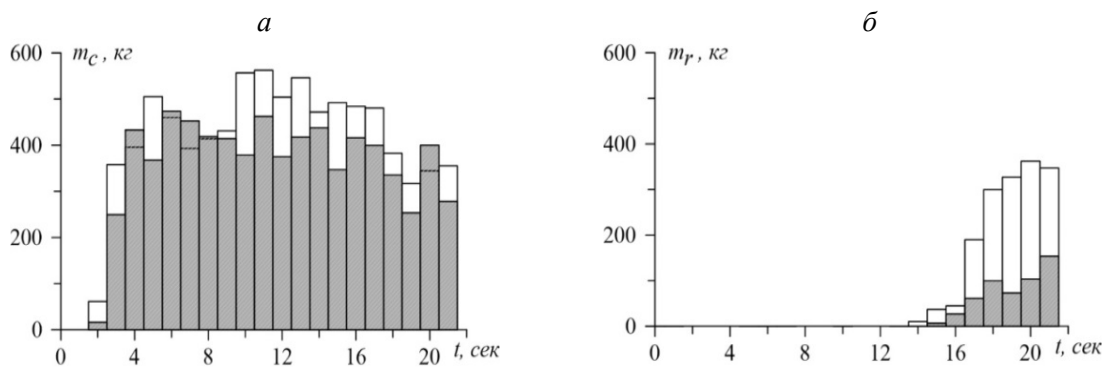
Данный факт подтверждается графиками массового расхода угля  $m_c$  и породы  $m_r$ , представленными на рисунке 29. Массовый расход (производительность) определяется как суммарная масса частиц соответствующего материала, пройденных через плоскость  $xu$  за единицу времени. На рисунке белым цветом обозначен массовый расход угля и породы для гладкого питателя, а серым цветом – для питателя с рифлениями в виде ступенек (конфигурация П15.1). При этом средний расход за 20 секунд неуправляемого выпуска составил 400 кг/сек.

Для лабораторных исследований процесса выпуска были разработаны и созданы в масштабе 1:25 модели секции механизированной крепи с устройствами передвижки (рисунок 30). Макеты секции крепи в количестве 20 штук были установлены в корпусе лабораторного стенда. Ширина короба по внутренним поверхностям прозрачных боковых стенок равна 1600 мм. Устройством удаления выпущенного угля из забойной зоны служит конвейерная лента шириной 65 мм и толщиной 4 мм, монтируемая перед основанием макетов секций. Приводом ленты служит мотор-редуктор, установленный под основанием лабораторной установки. Регулировка производительности ленты осуществляется преобразователем частоты вращения мотора. Натяжение конвейерной ленты осуществляется натяжным устройством, смонтированным с противоположной стороны короба, включающего в себя натяжной барабан и натяжные винты.



$t = 0$  с (а);  $t = 6$  с (б);  $t = 12$  с (в);  $t = 18$  с (г);  $t = 24$  с (д);  $t = 30$  с (е)

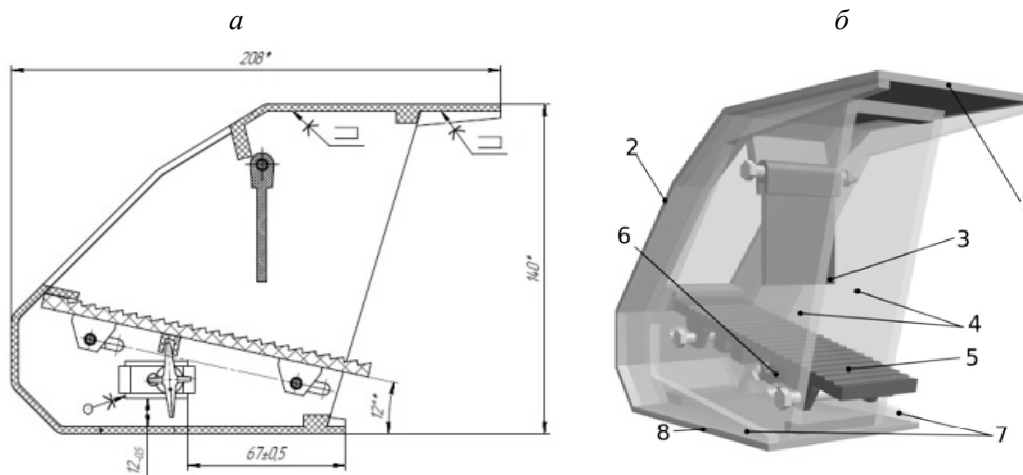
**Рисунок 28 – Кинематические картины выпуска в фиксированные моменты времени**



**Рисунок 29 — Массовый расход угля (а) и пустой породы (б) в процессе выпуска**

Система управления выпуском представляет собой аппаратно-программные средства, позволяющие осуществлять изменение параметров питателя (чистота, амплитуда) и режимов работы (индивидуальный, групповой). Лабораторная установка оснащена регистрирующей аппаратурой, обеспечивающей фото и видео фиксацию процесса управляемого выпуска. Данная установка позволяет проводить эксперименты по выпуску угля на макетных образцах секций механизированной крепи в различных режимах работы: индивидуальном, групповом, волновом, площадном.



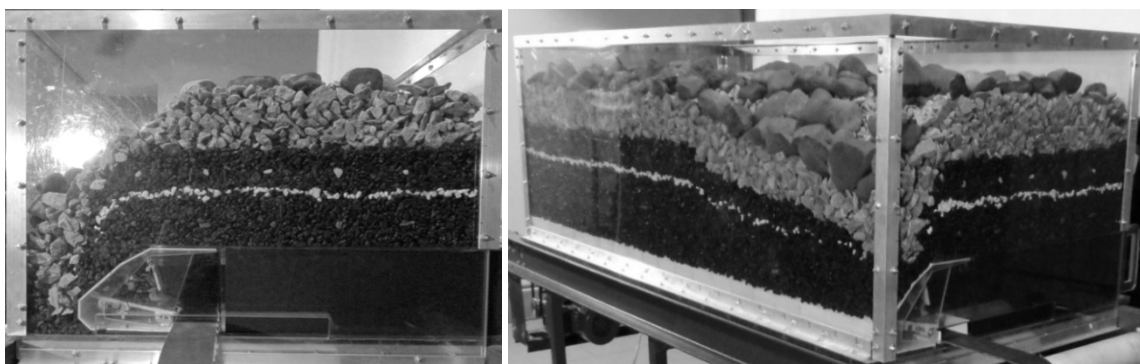


**Рисунок 30 – Эскиз (а) и трехмерная модель (б) макетного образца секции механизированной крепи с выпуском горной массы на забойный конвейер**

**1 – перекрытие; 2 – завальное ограждение; 3 – заслон; 4 – внутренние боковины (ограждающие стенки); 5 – автоматизированное устройство выпуска (питатель); 6 – сервомотор питателя; 7 – внешние боковины; 8 – основания**

В качестве выпускной массы, имитирующей уголь, используется щебень, окрашенный в черный цвет, фракция 5÷15 мм, породу – мраморная крошка серо-розового цвета, фракция 13÷25 мм. Для визуализации потока выпускной массы, материал, имитирующий угольную массу, разделён слоями белого щебня фракцией 5÷10 мм.

Кроме волнового и площадного режимов выпуска, программа и методика лабораторных исследований включает индивидуальный (процесс выпуска осуществляется поочередно на каждой секции) и групповой (процесс выпуска осуществляется одновременно на группе секций из 3–5 штук) режимы. На рисунке 31 показано состояние раздробленной горной массы при различных его режимах гравитационного выпуска.

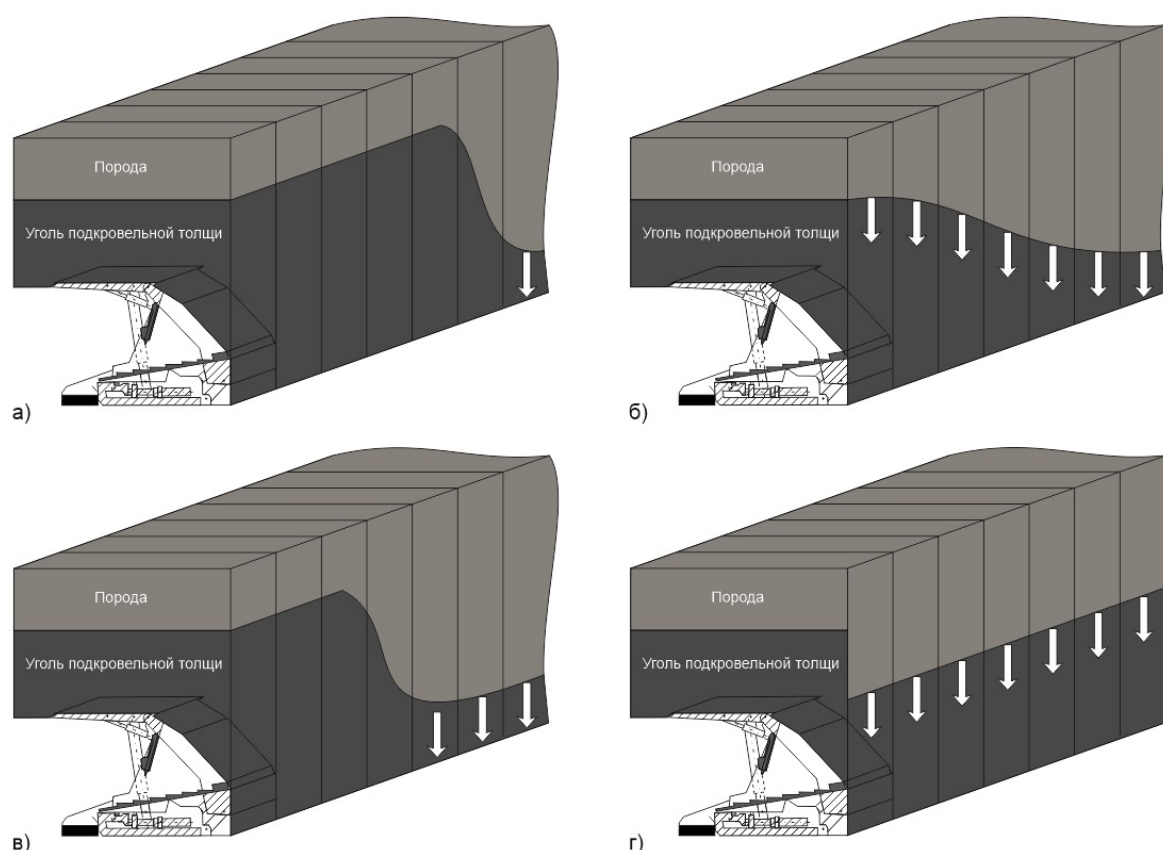


**Рисунок 31 – Лабораторные исследования процесса выпуска в различных режимах**

Моделирование взаимодействия потока разрушенного углеродного массива с элементами секции механизированной крепи для различных конструктивных устройств питателя показали, что при самых неблагоприятных условиях взаимодействия пиковые нагрузки не превышают 100 кН при среднем максимальном значении 40 кН, что соответствует прочностным расчетам конструкции крепи. Величина давления разрушенного углеродного массива наиболее нагруженных элементов питателя не превышает 125 КПа, что отвечает условиям прочности. Наибольшей производительностью обладает питатель конструктивного исполнения П70.05, средняя производительность при добыче угля за первые 60 секунд выпуска составила 147 кг/с, что в два раза превышает наилучшую производительность, показанную гладким питателем.

Разработана лабораторная модель механизированной крепи, а также система управления выпуском, позволяющая изменять параметры как питателя (частоту, амплитуду), так и режимы выпуска (индивидуальный, групповой). Создана лабораторная установка, оснащенная регистрирующей аппаратурой, обеспечивающей фото и видео фиксацию процесса управляемого выпуска. Выполнены тестовые лабораторные исследования процесса выпуска, показано соответствие теоретических представлений и экспериментальных исследований.

Для имитационного моделирования в качестве средства программной реализации модели роботизированного механизированного комплекса применена среда имитационного моделирования GPSS World. Модели позволяют проводить исследования выпуска угля при любых режимах, различных скоростях выпуска угля из каждого питателя, различной последовательности открывания и количестве одновременно открываемых выпускных окон питателей. С использованием разработанных моделей проведены исследования различных режимов выпуска угля подкровельной толщи (рисунок 32).



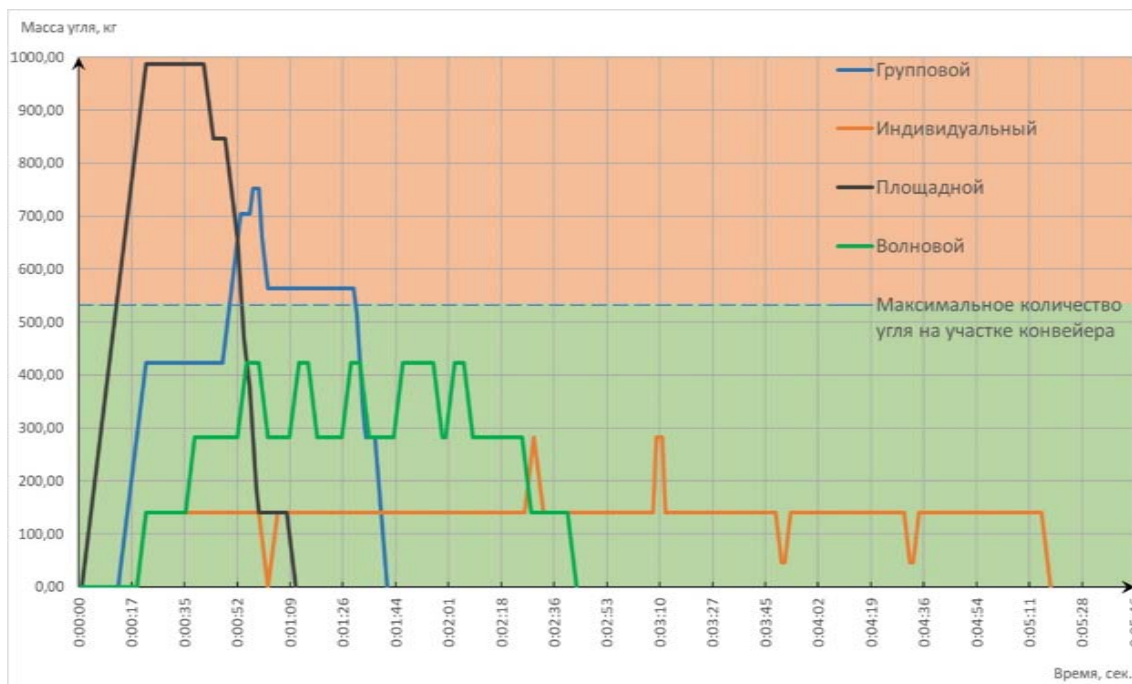
**Рисунок 32 – Схемы режимов выпуска угля подкровельной толщи**  
*а) индивидуальный; б) волновой; в) групповой; г) площадной*

Экспериментами установлено, что волновой режим обеспечивает более стабильное, равномерное и полное заполнение конвейера по сравнению с другими режимами.

На разработанных моделях были определены рациональные режимы управления выпуском и крепи, скорость выпуска на каждой секции, последовательность запуска питателей для условий пласта 21 шахты «Ольжерасская-Новая» Ольжерасского месторождения Кузбасса, который может быть разработан по технологии с выпуском угля подкровельной толщи (рисунок 33).

Разработанный метод позволяет на стадии проектирования разрабатывать цифровые модели роботизированного комплекса и определять его характеристики для конкретных горно-геологических условий применения и определённых параметров оборудования.





**Рисунок 33 – Масса угля на участке конвейера при различных режимах с учётом неравномерности выпуска**

**Методика по неразрушающему контролю и диагностике устройств, обеспечивающих управляемый выпуск угля подкровельной толщи на забойный конвейер.**

Анализ отечественного и зарубежного опыта контроля технического состояния оборудования показывает, что для обнаружения возможных отказов наиболее эффективен контроль состояния оборудования по параметрам механических колебаний, поскольку пути внешнего проявления скрытых механических дефектов весьма ограничены – это температура, шум и вибрация. При этом вибрация в шахтных условиях может быть легко измерена и вибрационные процессы практически мгновенно реагируют на изменение технического состояния, в то время как тепловые поля имеют большую инерционность, а акустический сигнал слишком сложно выделить из шумовых помех, создаваемых другим оборудованием.

МНК применяются для оценки технического состояния горного оборудования в агрегатированном состоянии при приемо-сдаточных испытаниях и в процессе эксплуатации на номинальных режимах.

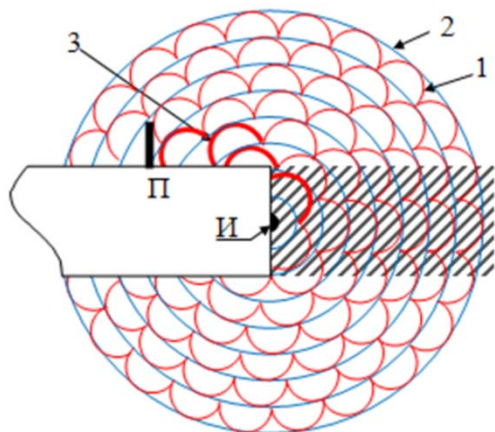
МНК устанавливает виды, периодичность и точность измерений, необходимых для диагностирования и прогнозирования технического состояния оборудования

Разработанная Методика по неразрушающему контролю и диагностике устройств, обеспечивающих управляемый выпуск угля подкровельной толщиной на забойный конвейер, прошла апробацию на модельном образце крепи с установленным гидравлическим питателем для выпуска угля из подкровельной толщи, спроектированном и собранном в Институте угля Федерального исследовательского центра угля и углехимии СО РАН.

Опытным путем установлено, что максимально фиксируемая частота не превышает  $f \leq 2\ 500$  Гц, что позволило использовать крепление измерительного преобразователя (акселерометра) к корпусу линейного гидродвигателя с помощью редкоземельных магнитов. Выбранный виброанализатор CORVET фирмы ДИАТЕХ полностью соответствует требованиям проведения исследований в шахтных условиях (взрывозащита – РВ Ex ib I Mb x для работы в горных выработках). Программное обеспечение SafePlant создает возможность для оценки технического состояния диагностируемого оборудования и пригодно упреждающего обслуживания объекта диагностики. Особенностью методики экспресс-анализа по экспериментальному определению деформаций является возможность в произвольном месте элемента металлоконструкции секции механизированной крепи проводить исследования деформаций по оси, совпадающей с осью СТП, и наглядно визуализировать напряженное состояние исследуемой поверхности.

### Спектрально-акустический прогноз выбросоопасности угольных пластов

Предложен и обоснован вариант исполнения спектрально-акустического метода и оборудование для прогноза газодинамических явлений, основанного на зависимости медианы амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) шумов работающего по угля горного оборудования от напряженного состояния призабойного пространства (рисунок 34).

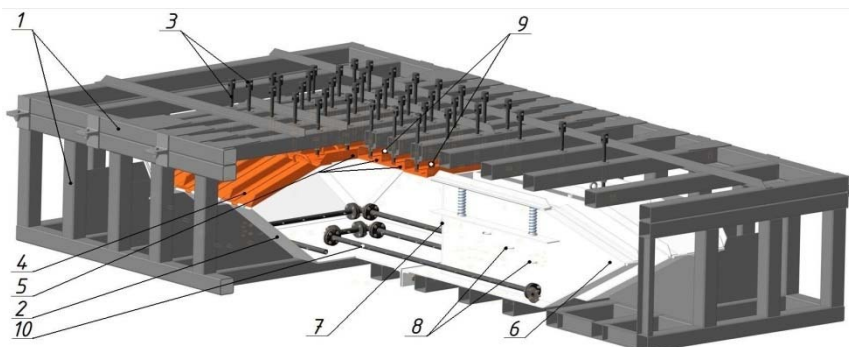


**Рисунок 34 – Контроль напряжений впереди выработки приемником П, установленным позади забоя, возможен благодаря дифракции звука от источника И**

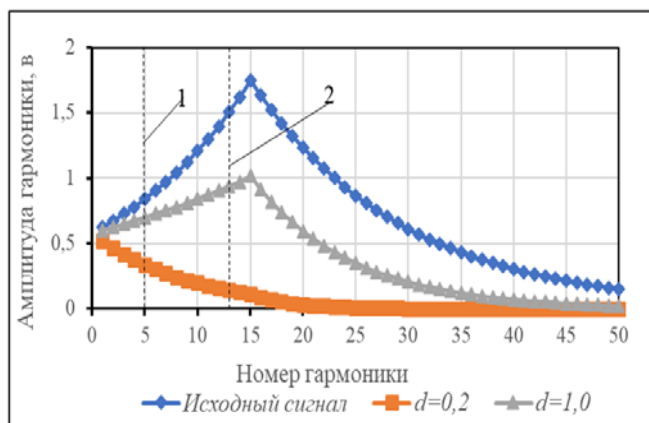
Проходческий комбайн в конвейерном штреке является инициатором образования зондирующего акустического излучения. Все остальные работающие машины являются источником помех.

Разработана и реализована установка для моделирования влияния напряженного состояния и наличия нарушений в пласте на спектр «шума» комбайна впереди подготовительной выработки (рисунок 35), включающая: 1 – внешняя рама, 2 – корпус установки, 3 – прижимные винты, 4 – боковые крышки, 5 – прижимные элементы, 6 – акустические ловушки, 7 – генератор акустических колебаний, 8 – датчики-преобразователи акустических колебаний, 9 – датчики давления, 10 – трубопровод.

Показано, что медиана спектра «шума» комбайна, прошедшего призабойное пространство, прямо пропорциональна средним напряжениям на пройденном звуком участке массива. Моделирование «шума» в полосе частот 10-1000 Гц показало, что при увеличении средних напряжений в 5 раз медиана «шума» комбайна возросла в 2,6 раза: с 5-й (1) до 13-й (2) гармоники (рисунок 36).



**Рисунок 35 – Установка для моделирования влияния напряженного состояния и наличия нарушений в пласте на спектр «шума» комбайна впереди подготовительной выработки**



**Рисунок 36 – Моделирование «шума» в полосе частот 10-1000 Гц**

2.5. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
НАУКИ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР  
«ЯКУТСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК»

ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА СЕВЕРА ИМ. Н.В. ЧЕРСКОГО  
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

Геомеханика

• В рамках линейной теории упругости выполнено математическое моделирование процесса деформирования многолетнемерзлого массива вокруг одиночных протяженных выработок круглого и квадратного сечения и определены критические размеры ореола оттаивания. Установлено, что появление оттаявшей зоны способствует уменьшению напряжений на контуре выработки, которые затем, по мере увеличения размера оттаявшей зоны, постепенно возрастают (рисунок 1). Также установлено, что для условий, когда отношение предела прочности в талой зоне к пределу прочности в мерзлой зоне меньше, чем отношение соответствующих модулей упругости, существует критический размер ореола оттаивания, при котором выработка теряет устойчивость по критерию Кулона-Мора (рисунок 2).

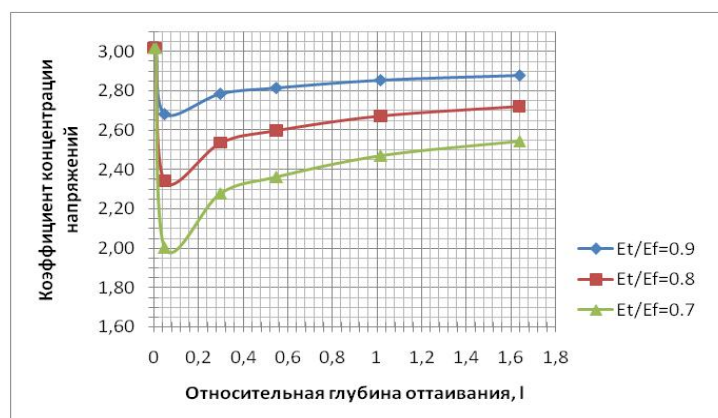


Рисунок 1 – Зависимость коэффициента концентрации напряжений на контуре выработки квадратного сечения от относительной глубины оттаивания  $l=L/0,25a$ , где  $L$  глубина оттаивания,  $a$  размер выработки,  $E_t/E_f$  отношение модуля упругости в талой зоне к модулю упругости в мерзлой зоне

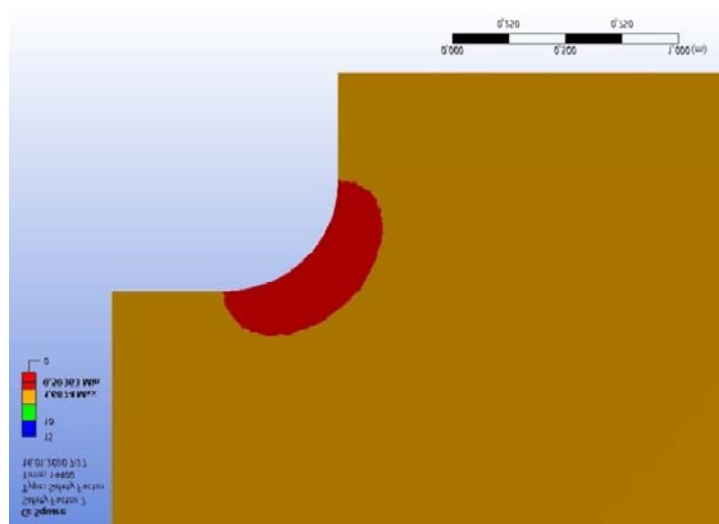
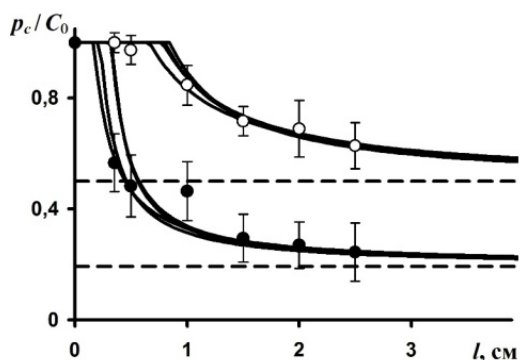


Рисунок 2 – Критическая зона по критерию Кулона-Мора вокруг выработки квадратного сечения

• Разработан, физически обоснован и экспериментально подтверждён ряд новых нелокальных критериев разрушения, область применения которых распространяется на квазихрупкие материалы с развитой зоной предразрушения. Критерии содержат минимальное количество дополнительных констант и имеют простой вид, удобный для инженерных расчётов. Их применение позволяет не только оценивать прочность материалов и элементов конструкций, содержащих концентраторы напряжений, но и прогнозировать наступление катастрофических разрушений, связанных с вязко-хрупким переходом в материалах. Область применения существующих нелокальных критериев ограничена случаями хрупкого, либо квазихрупкого разрушения с малой зоной предразрушения. Для расширения области их применения на случаи квазихрупкого разрушения с развитой зоной предразрушения предложено отказаться от гипотезы о размере зоны предразрушения, как о константе материала, связанной только с его структурой. Структурный параметр, лежащий в основе нелокальных критериев должен рассматриваться в качестве константы материала только в одном частном случае – при хрупком разрушении.



**Рисунок 3 – Зависимость разрушающей нагрузки от диаметра отверстия. Тёмные точки – экспериментальные данные для хрупкого материала, светлые точки – для квазихрупкого материала. Сплошные кривые – результаты теоретического расчёта по разработанным нелокальным критериям**

Для квазихрупких материалов этот параметр представляется в виде суммы двух слагаемых, первое из которых характеризует собственно структуру материала и является константой, а второе отражает формирование зоны неупругих деформаций и зависит от пластических свойств материала, геометрии образца и условий его нагружения (краевых условий). На основе предложенного подхода разработаны нелокальные критерии квазихрупкого разрушения и решён ряд задач о прочности квазихрупких материалов, содержащих концентраторы напряжений в виде кругового отверстия. Получено экспериментальное подтверждение разработанных критериев и показано, что их применение позволяет объяснить наблюдаемую в эксперименте смену характера разрушения с хрупкого на вязкий при увеличении размера отверстия (рисунок 3).

Выполнены теоретические и экспериментальные исследования разрушения квазихрупкой

геосреды, содержащей цилиндрическую полость и подверженную действию неравномерно распределенной сжимающей нагрузки. В качестве модельного материала для лабораторных испытаний использовали дигидрат сульфата кальция (двухводный гипс), приготовленный для первой серии экспериментов из водного раствора высокопрочного гипса марки ГВВС-16 (гипс 1), и для второй серии экспериментов – из водного раствора строительного гипса марки Г-5 (гипс 2). Перед испытанием в центре образцов высверливали круговые отверстия различного диаметра от 1 мм до 20 мм. Образцы из гипса 1 разрушались хрупко. Показано, что в этом случае критическое давление может быть рассчитано в рамках известных нелокальных критериев разрушения. Образцы из гипса 2 продемонстрировали квазихрупкий характер разрушения. В этом случае применение известных критериев не позволяет получить удовлетворительные оценки разрушающей нагрузки. Для расширения области применения нелокальных критериев на случаи квазихрупкого разрушения с развитой зоной предразрушения предложено отказаться от гипотезы о размере зоны предразрушения, как о константе материала, связанной только с его структурой. Разработаны новые критерии разрушения, являющиеся развитием критериев средних напряжений, напряжений в точке, фиктивной трещины, а также градиентного критерия, и содержащие комплексный параметр, характеризующий размер зоны предразрушения и учитывающий не только структуру материала, но также пластические свойства материала, геометрию выработки и условия нагружения. Получены выражения для критического давления в задаче об образовании трещин отрыва в образцах геоматериалов с круговым отверстием при неравномерно распределенном сжатии. Результаты расчётов хорошо согласуются с полученными экспериментальными данными.

## Горная теплофизика

- Экспериментальными исследованиями влияния знакопеременного температурного воздействия ( $+20 \div -20^{\circ}\text{C}$ ) на энергоёмкость разрушения карбонатных горных пород различной степени засоления (NaCl) в нивальных условиях установлено, что максимальное снижение удельных энергозатрат на разрушение образцов доломита с пористостью 14% тр. "Интернациональная" составляет 6% после воздействия пяти циклов замораживания-оттаивания в нивальных условиях при концентрации раствора 0% NaCl. С увеличением концентрации раствора степень влияния на энергоёмкость разрушения циклов замораживания-оттаивания снижается, а при концентрации свыше 10% и воздействия даже 10 циклов замораживания-оттаивания воздействие не выявлено (рисунок 4).

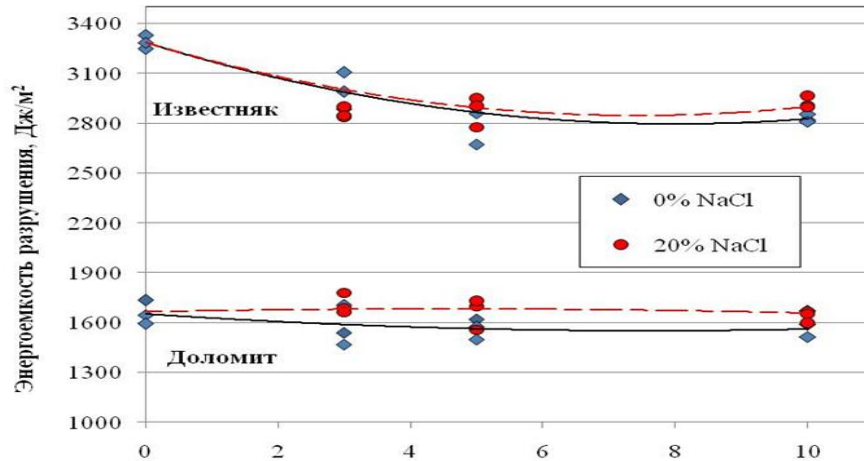


Рисунок 4 – Энергоёмкость разрушения исследованных карбонатных пород в зависимости от концентрации рассолов и количества проведенных циклов замораживания-оттаивания

- Методом математического моделирования установлено влияние продолжительности реверса главной вентиляторной установки в наиболее холодный период года на формирование температурного режима в вентиляционном стволе, бетонной крепи и вмещающем его массиве горных пород на примере алмазодобывающих рудников Якутии. Так, например, при температуре атмосферного воздуха  $-45^{\circ}\text{C}$  в течении первых 24 часов после реверса происходит полное промерзание бетонной крепи при скоростях вентиляционного потока более 2 м/с., а температура породного массива опускается ниже  $0^{\circ}\text{C}$  и, при скоростях воздушного потока до 10 м/с, толщина зоны мерзлых пород вокруг ствола составит не более 7 см (рисунок 5). Через 48 часов после реверса максимальная глубина промерзания массива горных пород достигает 30 см.

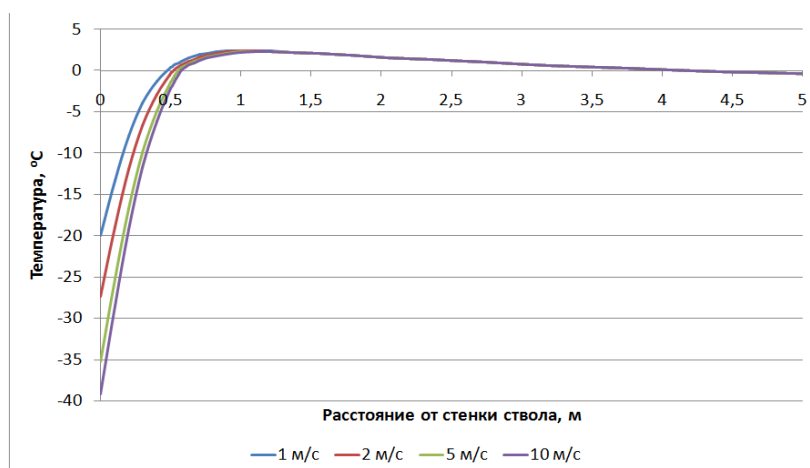
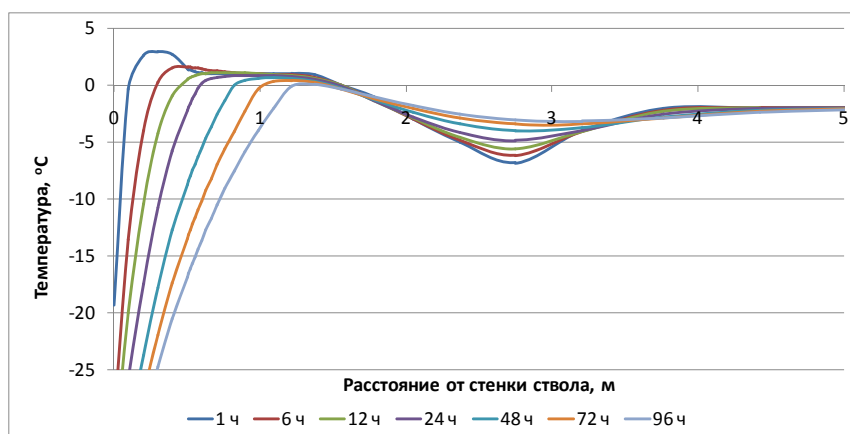


Рисунок 5 – Температура крепи (толщина 0,5 м) и вмещающего ствол массива горных пород на глубине 50 метров через 24 ч после начала реверсирования вентиляционной струи (температура атмосферного воздуха  $-45^{\circ}\text{C}$ )

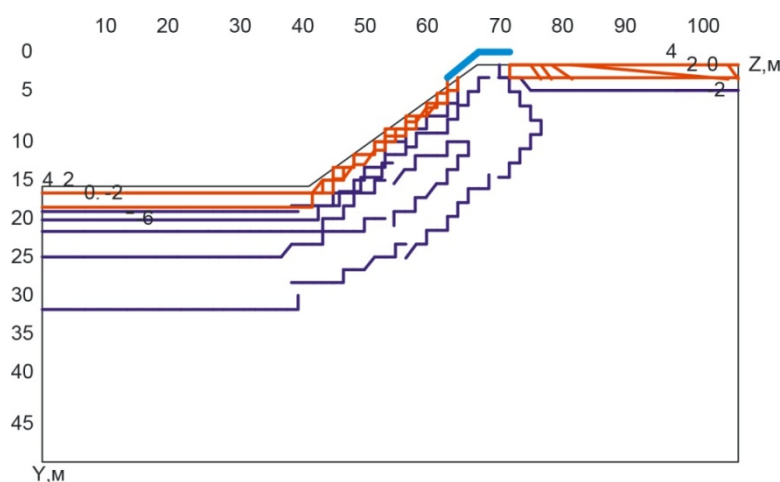


В устьевой части ствола при скорости вентиляционного потока 5 м/с и температуре атмосферного воздуха  $-45^{\circ}\text{C}$  замерзание пород в демпферном слое толщиной 0,5 м происходит через 48 часов после начала реверса, а при толщине 1 м через 96 часов (рисунок 6). Это может вызвать пучение пород и деформацию крепи.



**Рисунок 6 – Температура крепи (толщина 0,5 м) и вмещающего ствол массива горных пород на глубине 20 метров и толщине демпферного слоя 1 м через различные моменты времени после начала реверсирования вентиляционной струи и скорости воздуха в стволе 5 м/с (температура атмосферного воздуха  $-45^{\circ}\text{C}$ )**

- Разработаны рекомендации по обеспечению оптимального теплового режима пород уступа карьера криолитозоны (предотвращение их оттаивания), учитывающие изменение температурного поля в окружающем породном массиве в зависимости от климатических условий, теплофизические и фильтрационные свойства пород, уклон склона и высоту уступа, теплофизические свойства и геометрические параметры теплоизоляции, что позволит существенно повысить устойчивость уступа и, как следствие, безопасность открытых горных работ на протяжении всего периода отработки месторождения. Разработана двухмерная математическая модель и программа тепло-влаго обменных процессов в прибортовом горном массиве уступа карьера, учитывающая природно-климатические условия (годовую динамику изменения температуры атмосферного воздуха, толщину снегового покрова, скорость ветра, количество дождливых дней по месяцам), теплофизические свойства вмещающих горных пород, а также конструктивные особенности уступа (геометрические размеры уступа, угол откоса склона), теплофизические свойства и геометрические размеры теплоизоляции поверхностей уступа (рисунок 7).



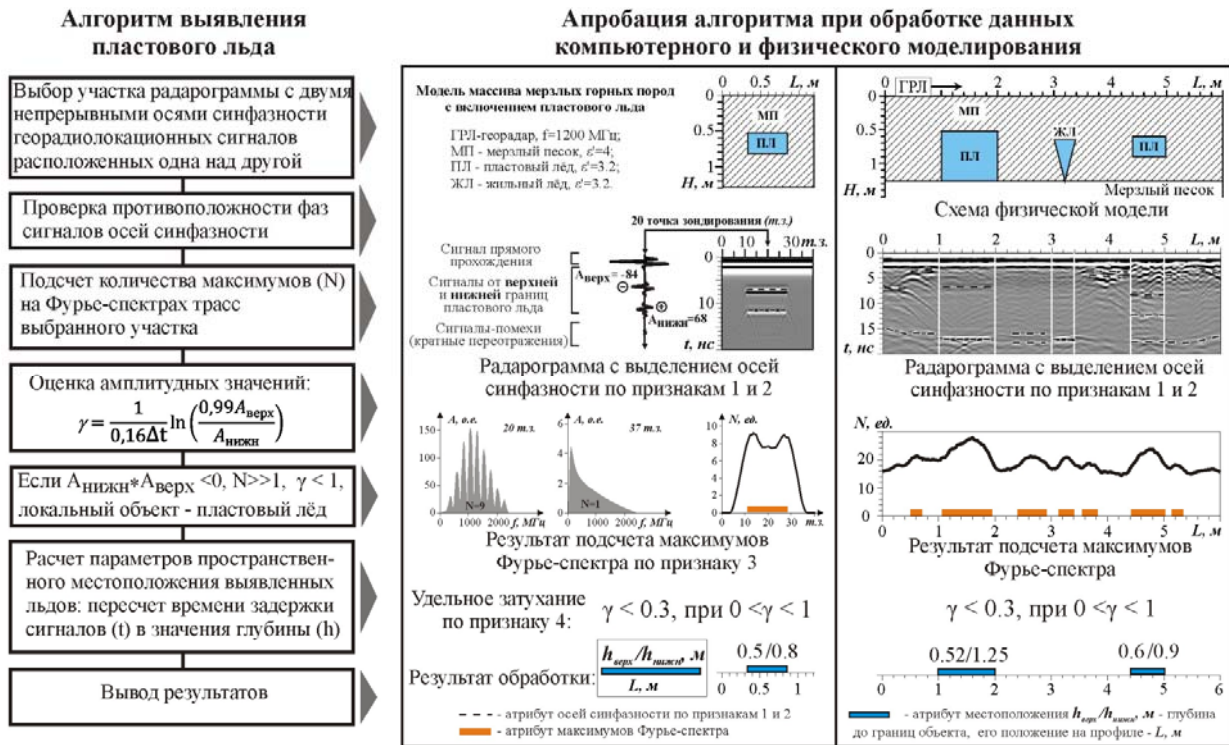
**Рисунок 7 – Распределение температуры в прибортовом горном массиве в середине сентября 3-го года эксплуатации карьера при использовании гидро-теплоизоляционного слоя толщиной 0,4 м,  $\lambda_{из}=0,1 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ , длина изолируемого участка 5 м**



## Горнопромышленная геофизика

Разработана и апробирована методика обработки данных георадиолокации для картирования подземных льдов в массиве мёрзлых горных пород, реализующая алгоритм поиска комплекса георадиолокационных признаков пластового льда (рисунок 8):

- наличие двух непрерывных осей синфазности георадиолокационных сигналов, расположенных одна под другой;
- противоположность фаз сигналов верхней и нижней осей синфазности;
- повышенная «изрезанность» огибающей Фурье-спектра георадио-локационных трасс;
- отношение амплитудных значений сигналов верхней и нижней осей синфазности меньше  $0.95\Delta t$  ( $\Delta t = t_{\text{нижн}} - t_{\text{верх}}$ ).

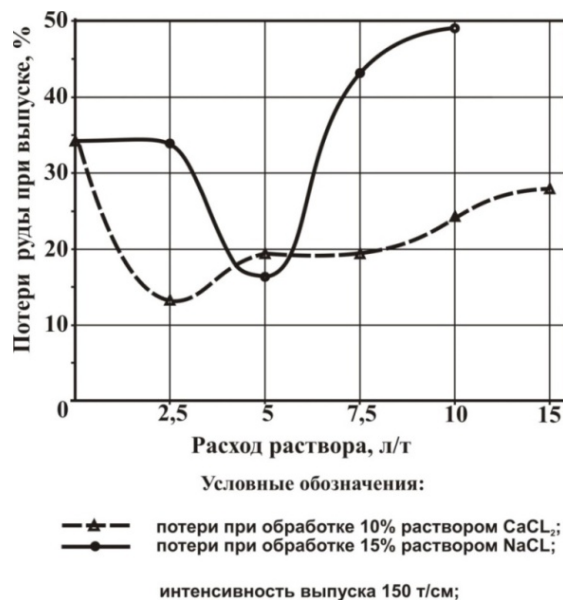


**Рисунок 8 – Методика обработки данных георадиолокации для выявления подземного пластового льда**

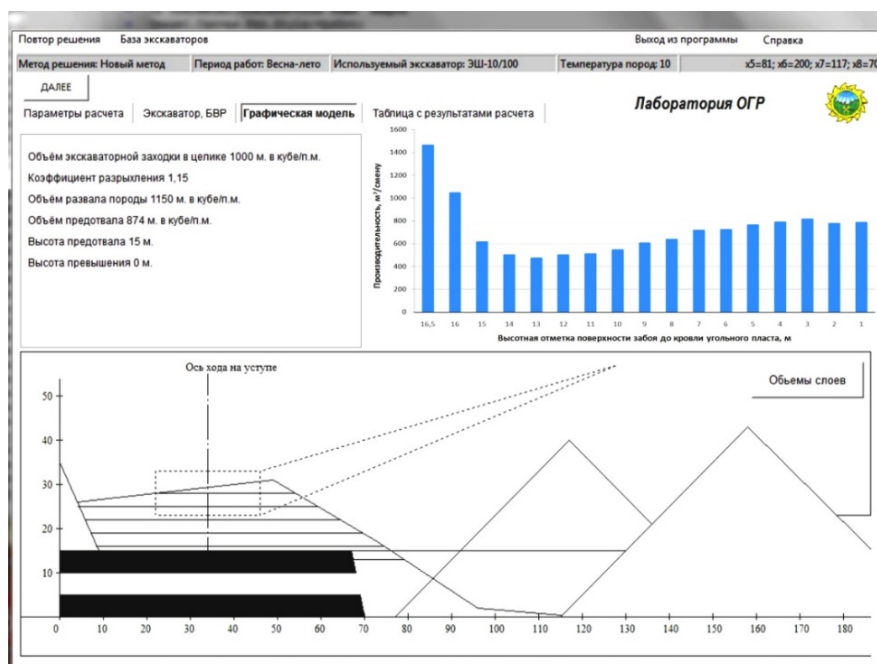
### Физико-техническая геотехнология

- Экспериментальными исследованиями установлено влияние степени минерализации поровой влаги в отбитой руде на ее потери при торцевом выпуске в условиях отрицательных температур очистного пространства. В частности, при обработке рудной массы 10-процентным раствором хлорида кальция ( $\text{CaCl}_2$ ) в количестве 2,5 литра на тонну отбитой руды с влажностью 1,0% при температуре  $-5^\circ\text{C}$ , происходит значительное снижение ее потерь от смерзания при выпуске (на 20,7%). Применение 15-процентного раствора хлорида натрия ( $\text{NaCl}$ ) в аналогичных условиях, позволяет снизить потери от смерзания на 16,5% при расходе 5 л/т. Дальнейшее увеличение расхода раствора в обоих случаях приводит к снижению сыпучих свойств руды и возрастанию ее потерь в блоке (до 48%) (рисунок 9).

- Разработаны математическая модель и программа расчета параметров бестранспортной технологии внутреннего отвалообразования смерзающихся вскрышных пород, учитывающие температурный режим многолетнемерзлых горных пород в массиве и развале после взрывной подготовки, порядок отработки экскаваторного блока и показатели взрывных работ. Отличительной особенностью программы является возможность прогноза производительности драглайна на всех стадиях отработки взорванного блока в условиях изменения его температурного режима по глубине (рисунок 10).



**Рисунок 9 – Влияние изменения минерализации поровой влаги на потери руды при выпуске в условиях отрицательных температур очистного пространства**



**Рисунок 10 – Рабочее окно программы расчета параметров бестранспортной технологии внутреннего отвалообразования сменяющихся вскрышных пород**

Исходными данными для оценки производительности драглайна являются результаты предварительного расчета температурного режима в развале взорванной горной массы на установленную дату взрыва. На первом этапе задается температурно-климатический период проведения взрывных работ, параметры отработки экскаваторного блока и параметры буровзрывных работ. По результатам предварительного расчета температурных полей в развале взорванной горной массы на установленную дату задается толщина выемочного слоя, характеризующая понижение поверхности забоя драглайна на определенной площади за конкретный промежуток времени. С использованием установленной взаимосвязи между временем цикла драглайна и температурой пород в забое рассчитывается производительность экскаватора, время отработки каждого выемочного слоя, а затем и время отработки экскаваторного блока.

- Разработана система мероприятий по управлению качеством минерального сырья при эксплуатации золотороссыпного месторождения реки Б. Куранах с учетом статистических характеристик и моделей распределения полезного компонента в продуктивном контуре, комбинации дражного и бульдозерно-экскаваторного способов разработки, порядка погашения участков (блоков) месторождения, гранулометрического состава и степени сокращения объема обогащаемых песков при минимальных потерях полезного компонента, что позволит обеспечить стабильные показатели переработки и извлечения золота, селективность и полноту выемки запасов. На основе анализа геолого-маркшейдерской информационной базы устанавливаются статистические характеристики и создаются модели распределения полезного компонента в продуктивном контуре, определяющие области концентрационной неоднородности запасов по содержанию. Численное выражение показателя неоднородности рассчитывается по кривой Лоренца, отражающей фактическую долю кондиционных и некондиционных песков. Установленные статистические характеристики, модели распределения полезного компонента и параметры геометрии металлоносных зон являются основой для выбора порядка отработки и направления горных работ, обеспечивающих полноту и селективность выемки запасов, в соответствии с объемами продуктивных песков и содержанием в них полезного компонента. Рациональная комбинация способов открытой разработки, и порядок погашения участков (блоков) месторождения, рекомендуемые к применению, основываются на распределении запасов металла по участкам россыпи (таблица), учете изменчивости мощности торфов и песков, гранулометрического состава песков и золота, наличия глинистой составляющей. По установленным зависимостям изменения предельных границ классов крупности некондиционного сырья, отсеиваемого в процессе дезинтеграции, определяется рациональная компоновка технологической цепи переработки золотосодержащих песков.

**Таблица**

**Распределение запасов металла по участкам россыпи**

Доля запасов металла, % / среднее содержание по участкам, мг/м <sup>3</sup>				
Всего балансовые	№4	№3	№2	№1
100% – 280 мг/м <sup>3</sup>	61,2 / 333	24,2 / 212	12,3 / 253	2,3 / 227
Балансовые попутно обрабатываемые*				
100% – 184 мг/м <sup>3</sup>	7,64 / 218	81,4 / 179	1,29 / 195	9,67 / 203

\* К попутно обрабатываемым относятся блоки, находящиеся между балансовыми, но имеющие среднее содержание золота несколько ниже минимального промышленного, но достаточное для покрытия всех издержек производства, кроме связанных с общими издержками по предприятию.

### **Геоэкономика**

- Разработаны методологические основы комплексного менеджмента качества в цепочках поставок потребителям коксующегося и энергетического угля на примере сложных по структуре и неоднородных по свойствам месторождений Якутии. Основы базируются на: системном подходе при формулировании общих и частных принципов управления качеством; оценке требований сегментов конкурентных рынков к сырью; созданных базах данных месторождений и построенных их 3D моделях; изучении изменения свойств угля в пластах и потоках; разработанной методике деления и оценки зольности добываемого угля на природные и технологические составляющие; предложенных ресурсосберегающих организационных и технологических мерах, обеспечивающих регламентируемый потребителями уровень качества угля и снижающих его общие потери в цепочках поставок.

### **Обогащение полезных ископаемых**

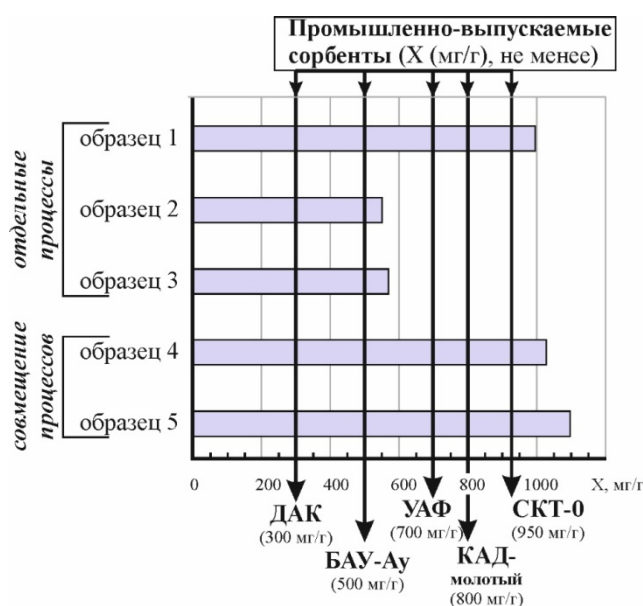
- Экспериментальными исследованиями на лабораторной модели вертикального центробежного измельчителя ВЦИ-12 конструкции ИГДС СО РАН установлены рациональные рабочие параметры вертикальной мельницы (зазор между рабочими дисками – 3мм., угол разгрузки -150 град.), что позволило обеспечить управление процессом измельчения в режиме многократных динамических и истирающих воздействий (исключение выброса недоизмельченных частиц заданной крупности из рабочей зоны измельчения), а также задавать крупность

помола продуктов дезинтеграции. Разработан проект и рабочая документация на вертикальный центробежный измельчитель ВЦИ-12 производительностью до 12 т/ч.

- Разработана методика выбора и расчета параметров винтовых пневмосепараторов различного технологического назначения, учитывающая фракционный состав, плотность минерального сырья и пустой породы, скорость воздушного потока для разделения минералов по их миграционной способности, что позволяет определить оптимальный типоразмер пневмосепаратора (диаметр внешней и внутренней стенки винтовой камеры, количество витков) и рациональные параметры винтообразной рабочей камеры (шаг, углы наклона внутренней и внешней стенки, форма, параметры сечения) для эффективного разделения различных классов полезных минералов высокой и средней плотности (выше 3,2 г/см<sup>3</sup>) от пустой породы плотностью до 2,5 г/см<sup>3</sup>.

### Физико-химическая геотехнология

- Разработан способ получения высококачественных сорбентов из угольного сырья, основанный на совмещении химической и парогазовой активации и экспериментально установленные оптимальные параметры процесса



**Рисунок 11 – Сравнение полученных образцов сорбентов с марками промышленно-выпускаемых активных углей по величине адсорбционной активности по йоду (X, мг/г)**

**Образцы 2 и 3** получены методом парогазовой активации (термолиз в режиме термоудара при 800 °С с последующей изотермической выдержкой без доступа воздуха в течение 60 мин при расходе парогазового реагента (водяного пара или водяного пара и СО<sub>2</sub>) 250-300 мл/час).

**Образцы 4 и 5** получены при параллельном и последовательном совмещении процессов химической модификации и парогазовой активации.

### Информация о проведенных в 2019 году научно-организационных мероприятиях.

Совместно с ИГД ДВО РАН проведена V Всероссийская научно-практическая конференция «Геомеханические и геотехнологические проблемы эффективного освоения месторождений твердых полезных ископаемых северных и северо-восточных регионов России» в г. Якутске 16 – 20 сентября 2019 года.

**Публикации Института:** опубликовано 3 главы в коллективных монографиях, 53 статьи в журналах и 72 доклада в материалах конференций, получено 9 охранных документов РФ (патент на полезную модель, 4 патента на изобретения и 4 свидетельства на программы для ЭВМ).



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

В 2019 г. Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН продолжал исследования по госзаданиям в рамках проекта № 0386-2019-0004 (IX.137.1.2) «*Геохимия редких и редкоземельных элементов в природных и геотехногенных ландшафтах и гидрогеохимических системах*» (научный руководитель д.г.-м.н. профессор Г.А. Юргенсон).

Изучено поведение химических элементов в хвостохранилищах бывших (Шерловогорский, Малокулиндинский, Шахтаминский) и периодически действующих (Орловский) предприятий горного производства Забайкальского края и влияние их на окружающую среду.

**Орловский ГОК.** Изучено распределение редких элементов в хвостохранилище Орловского ГОКа в Забайкальском крае. Хвостохранилища этого предприятия образованы отходами обогащения руд Орловского месторождения лития и тантала и Спокойнинского месторождения вольфрама. В связи с тем, что Орловский ГОК в разные отрезки времени разрабатывал либо оба месторождения одновременно, руда которых поступала на одну фабрику, где было две технологических линии: танталовая для руд Орловского месторождения и вольфрамовая для руд Спокойнинского месторождения, либо одно из них. Отходы обогащения складировались или в общем хвостохранилище, либо, когда разрабатывалось только Спокойнинское месторождение в хвостохранилище поступали отходы обогащения только вольфрамовых руд. При этом, на старом хвостохранилище складированы хвосты обогащения как танталовых, так и вольфрамовых руд, а на новом в настоящее время только вольфрамовых.

В настоящее время имеется два хвостохранилища (рисунок 1). В процессе разработки Орловского тантал-литиевого месторождения извлекались только минералы тантала – колумбит-танталит и микролит. Минералы лития – лепидоит и циннвальдит уходили в отвальные хвосты. Поэтому изучено распределение W, Rb и Li, Ta и Nb, U и Th хвостах обогащения обеих фабрик. Определено, что в техноземах хвостохранилища старой фабрики, сложенной отходами обоих месторождений существенно превышено содержание всех изученных химических элементов, кроме Th. В Т.3 хвостохранилища №1 (рисунок 1, фрагмент №1, т. 3) обнаружено максимальное содержание Li, Rb, Ta, в Т.5 и Т.6 хвостохранилища №2 максимум W (рисунок 2). Установлено, что в хвостохранилище №1, содержащем отходы переработки обоих месторождений высокие содержания Rb и Li (рисунок 2), Ta и Th и низкие W и U (рисунки 3 и 4).

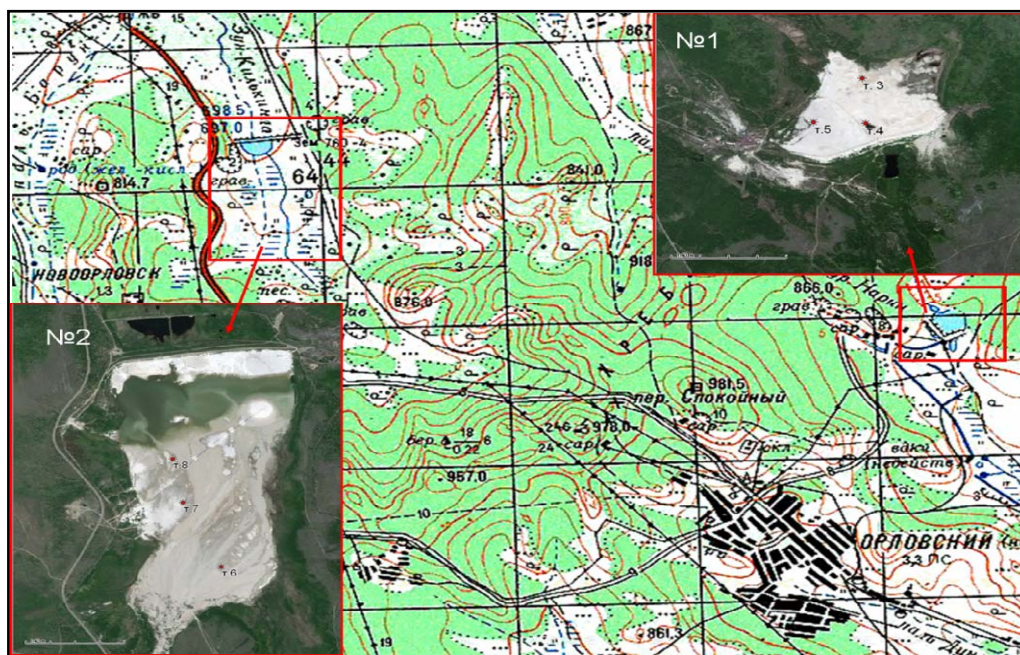


Рисунок 1 – Карта расположения объектов исследования: старого №1 и нового №2 хвостохранилищ Орловского ГОКа. Космические снимки

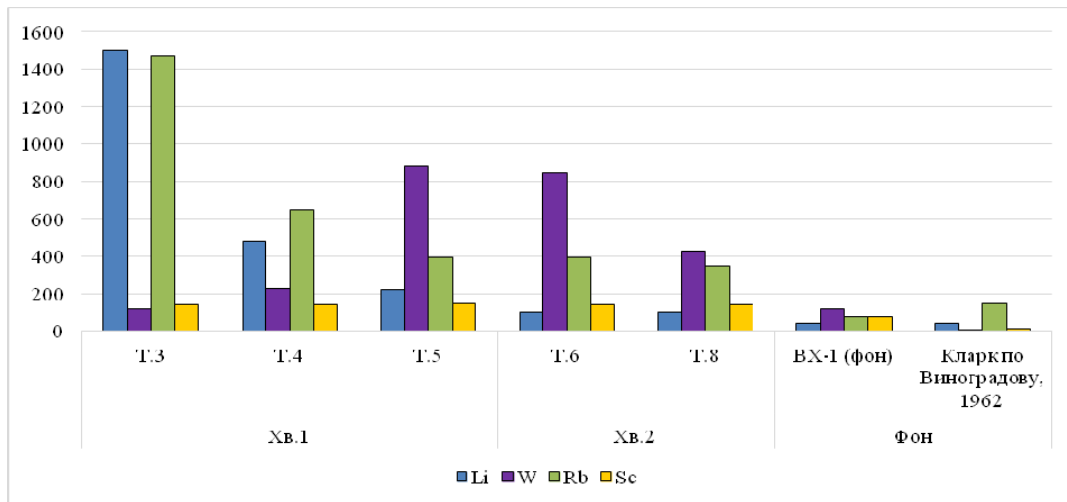


Рисунок 2 – Среднее содержание Sc, Rb, W, Li в хвостохранилище Орловского ГОКа, ppm

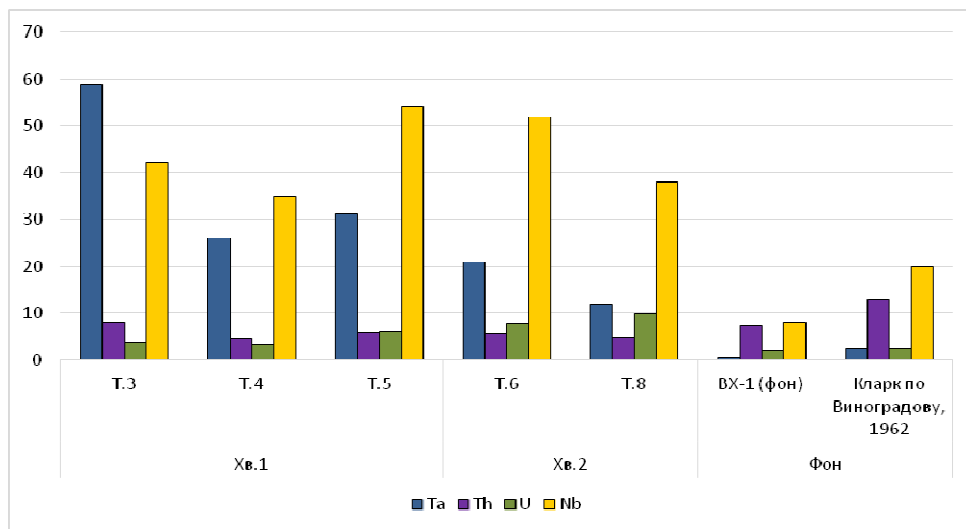


Рисунок 3 – Среднее содержание Nb, U, Th, Ta в хвостохранилище Орловского ГОКа, ppm

На распределение урана и тория также влияет первичный источник рудного материала. Так, в отходах обогащения Орловского месторождения преобладает торий, в то время как в песках из Спокойнинского месторождения преобладает уран (рисунки 4 и 5).

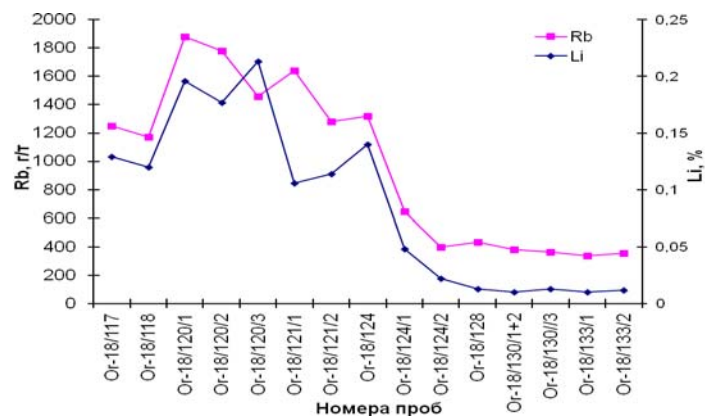
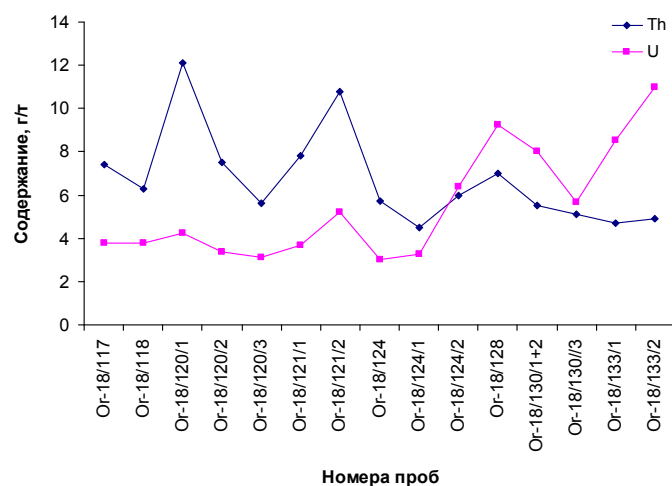


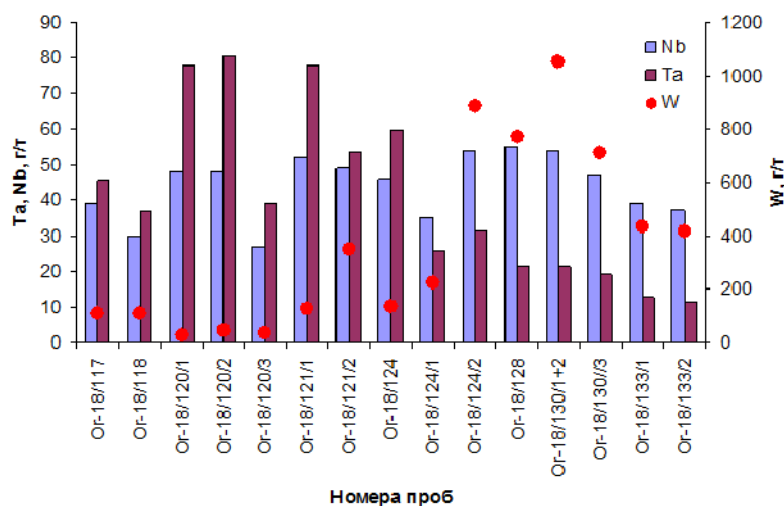
Рисунок 4 – Распределение рубидия и лития в хвостах обогащения Орловского ГОКа





**Рисунок 5 – Содержание урана и тория в хвостах обогащения Орловского ГОКа**

Для хвостов обогащения фабрики №2 установлены низкие содержания Rb и Li, Ta и U. Доля вольфрама здесь увеличена, что обусловлено снижением доли тантал-литиевых руд в объеме переработки. При этом, соотношение содержаний тантала и ниобия сдвигается в сторону увеличения доли ниобия, так как он содержится также и в вольфрамите Спокойнинского месторождения (рисунок 6).



**Рисунок 6 – Содержание тантала, ниобия и вольфрама в хвостах обогащения Орловского ГОКа**  
**Левая часть рисунка (пробы Ор-18/117 – Ор-124-1 характеризуют хвосты обогащения танталовых и вольфрамовых руд фабрики 1, правая часть – хвосты обогащения вольфрамовых руд фабрики 2)**

В целом, содержания промышленно важных элементов (ppm) Rb (340–1880), Li (100–2130) и W (28–1050), Ta (11,4–77,9), Sc (130–150), Tl (4,4–5,9) в хвостах обогащения достаточно высоки и требуется изучение вопроса об их промышленной значимости и адаптации технологии их извлечения при утилизации старого хвостохранилища.

**Бывший Малокулиндинский рудник.** Получены первые данные по содержанию редких элементов в технозомах хвостохранилища бывшего рудника старательской артели «Кварц», по договору с Орловским ГОКом разрабатывавшего Малокулиндинское месторождение редких металлов, которое было открыто в 1813 году как оловянное и эксплуатировалось на олово с 1813 по 1818 годы. Добыто 112 тонн руды с содержанием касситерита 1–6 %. С 1951 по 1956 годы разведывалось экспедицией № 2, которая выделила ряд участков развития пегма-

титовых жил. Малокулиндинское пегматитовое поле содержит 132 пегматитовые жилы, залегающие в метаморфизованных аргиллитах и алевролитах онтагаинской свиты. Жилы имеют сложное строение, с многочисленными пережимами и раздувами; мощности варьируют от первых десятков сантиметров до 20 м при протяженности от 15–20 до 500 м. По минеральному составу выделяются кварц-микроклиновые и кварц-микроклин-альбитовые пегматиты. Минеральный состав – кварц, полевые шпаты, мусковит, берилл, танталониобаты, касситерит, апатит.

В средней части пади Малая Кулинда находится хвостохранилище обогатительной фабрики (рис.7а). Размеры чаши 660×150 м. Наблюдается активное зарастание кустарниками и многолетними травами. Схема отбора проб песков и растений с хвостохранилища, а также координаты точек опробования приведены на рисунке 7б.



**Рисунок 7 – Вид на хвостохранилище Малокулиндинского месторождения тантала со стороны обогатительной фабрики (а) и космоснимок с точками отбора проб (б)**

Средние содержания тантала в техноземе хвостохранилища (28,7 – 44,3 ppm) более, чем в 20 раз превышают кларк, приближаясь к промышленным. Другой важный редкий элемент – литий образует концентрации в 5 – 8 раз превышающие кларк. Относительно высоки концентрации олова, средние содержания которого находятся в пределах 39 – 74,4 ppm, превышая кларк в 15 – 30 раз, также приближаясь к промышленным содержаниям в россыпях, каковыми являются хвосты обогащения Малокулиндинской фабрики. Из важных, как в экономическом, так и экологическом отношении элементов, отметим бериллий, содержания которого находятся в пределах 59,9 – 93,6 ppm (в 18 – 25 раз превышает кларк и близко к содержанию, извлечение которого из комплексных руд может быть рентабельно, так как промышленные содержания окиси бериллия в пегматитах Завитинского месторождения находились в этих пределах). Содержания урана и тория близки кларковым, указывая на отсутствие радиоактивной опасности для окружающей среды. РЗЭ не образуют сверхкларковых содержаний, что типично для хвостов обогащения гранитных пегматитов. В техноземах Малокулиндинского месторождения выявлены относительно высокие содержания бериллия (74, – 96,3 ppm), цезия (55,8 – 75,6 ppm), рубидия (659 – 773 ppm), лития (201 – 286 ppm). Содержания тория существенно ниже кларка (2,1 – 6,2 ppm), а урана на уровне кларка (1,9 – 3,2 ppm). Извлекавшиеся из руд олово и тантал с ниобием, содержатся в количестве 35,9 – 74,4 ppm (олово) и 31,1 – 50,3 ppm и 28,7 – 50,8 ppm тантал и ниобий, соответственно. Это указывает на несовершенство технологии обогащения руб. Концентрации РЗЭ существенно ниже кларка.

Таким образом, изучение техноземов из хвостохранилищ фабрик, перерабатывавших руды Малокулиндинского месторождения, показало обогащенность их литием, бериллием, танталом, оловом, цезием, рубидием. Дальнейшее изучение минерального состава техноземов представляется весьма важным при решении задач их утилизации.

**В Шерловогорском рудном районе** исследовано 120 проб почв на содержание в них валовых форм свинца, кадмия, цинка, меди. Установлено, что концентрации свинца в почве превышают ПДК в 29,17 %, кадмия – в 12,50 %, цинка – в 28,3 3%, меди – в 3,33 % отобранных проб (рисунок 8).



**Рисунок 8 – Схема расположения хвостохранилища и мониторинговых точек в пгт. Шерловая Гора (1, 2, 3, 4, 5, 6 – мониторинговые точки)**

В динамике (2012 – 2015) для всех элементов характерно снижение количества проб, не соответствующих нормативным значениям. Содержание анализируемых токсикантов на уровне медианных значений не превышало гигиенических нормативов. Загрязнение почвы свинцом и цинком на уровне  $P_{75}$  было выше ПДК в 1,1 и 1,3 раза соответственно, содержание кадмия и меди соответствовало нормативным данным.

**Шахтаминский рудник** обрабатывал одноименное месторождение молибдена, находящееся в Шелопугинском районе Забайкальского края, в результате функционирования которого сформировалось хвостохранилище площадью 16,0 га объёмом в 4,524 млн. т отходов, которое располагается в непосредственной близости от жилой зоны с. Вершино-Шахтаминский. Рудник действовал с 1941 по 1992 годы. В рамках проводимого мониторинга исследовано 90 проб почв на содержание в них валовых форм свинца, кадмия и мышьяка, отобранных в пяти мониторинговых точках (рисунок 9).

За изучаемый период концентрации свинца в почвенном покрове превышали ПДК в 94,4 %, кадмия – в 76,6 %, мышьяка – в 60,0 % проб. В динамике с 2012 по 2015 гг. доля неудовлетворительных проб по содержанию кадмия и свинца выросла с 64,0 и 84,0 % до 85,0 и 100,0 % соответственно, мышьяка – с 28,0 до 90,0 %. Медианные концентрации свинца, кадмия, мышьяка в исследуемых пробах почвы были выше гигиенических нормативов в 2,42, 1,64 и 1,63 раза соответственно. На уровне верхнего предела экспозиции содержание свинца и кадмия превышало ПДК в 3,3 и 2,6 раза соответственно, мышьяка – в 2,4 раза.

В динамике содержание свинца на уровне медианных концентраций не только превышало ПДК, но и характеризовалось устойчивой тенденцией к росту: в 2012 г. оно составило 67,2 мг/кг (2,1 ПДК), в 2015 г. – 92,3 мг/кг (2,9 ПДК).

Содержание кадмия также было выше нормативных значений, но при этом его уровень изменялся незначительно – с 0,9 мг/кг (1,8 ПДК) в 2012 г. до 0,97 мг/кг (1,94 ПДК) в 2015 г.

Концентрации мышьяка имели высокую степень вариабельности: наиболее низкое значение зарегистрировано в 2012 г. (1,8 мг/кг), максимальное – в 2014 г. (4,5 мг/кг). При анализе содержания поллютантов на уровне верхнего предела экспозиции установлено, что превышение нормативных значений составило в среднем от 2 до 3 ПДК, за исключением свинца, показатель которого в 2012 г. был равен 6 ПДК. Максимальные концентрации исследуемых токсикантов превышали гигиенические нормативы в течение всего анализируемого периода, причём наибольшее содержание было зарегистрировано в 2012–2013 гг. и составило для свинца 1500,0 и 837,1 мг/кг, кадмия – 6,6 и 6,5 мг/кг соответственно, мышьяка в 2013–2014 гг. на уровне 40,7–39,0 мг/кг.



**Рисунок 9 – Схема расположения хвостохранилища и мониторинговых точек в с. Вершино-Шахтаминский (1, 2, 3, 4, 5 – мониторинговые точки)**

На всей территории населенного пункта регистрировались пробы с высоким содержанием тяжелых металлов и мышьяка. Сравнительная оценка выявила значительный уровень изучаемых поллютантов в мониторинговых точках 1, 2, 3 и 4, где зарегистрированы медианные концентрации, превышающие ПДК по свинцу в 2,7–3,5, по кадмию – в 1,8–4,0, по мышьяку – в 1,4–1,9 раза. На уровне  $P_{75}$  превышение составило для свинца от 2,9 до 4,1 ПДК, кадмия – от 2,1 до 4,9 ПДК, мышьяка – от 2,2 до 2,8 ПДК. На протяжении исследуемого периода суммарный показатель загрязнения  $Z_c$ , рассчитанный по максимальным концентрациям, варьировался в пределах от 23,76 до 164,8, что оценивает уровень загрязнения почв от «умеренно опасного» до «чрезвычайно опасного». Эколого-гигиеническая оценка по показателю  $Z_c$ , определённого с учётом медианных концентраций, относит изученные почвы к категории «допустимое загрязнение» ( $Z_c$  от 6,7 до 8,85).

В результате проведенного исследования установлено, что наиболее неблагоприятная ситуация сложилась в населенном пункте Вершино-Шахтаминский, где в соответствии с суммарным показателем загрязнения  $Z_c$  почва относится к категории от «умеренно опасной» до «чрезвычайно опасной». Это обусловлено, с одной стороны, несовершенством технологии переработки сырья, когда в отходы производства попадает широкий спектр химических элементов, с другой стороны, тем, что хвостохранилища, представляющие собой основной источник загрязнения окружающей среды, располагаются в селитебной зоне поселений, не организовав при этом санитарно-защитную зону.

Для изучения характера влияния химического загрязнения почвы на здоровье населения необходим эколого-гигиенический мониторинг с установлением степени контаминации контактирующих с ней сред (атмосферного воздуха, сельскохозяйственной продукции, поверхностных и подземных вод). Суммарное воздействие всего комплекса изученных металлов является реальным фактором риска, поэтому проведение углубленных медико-биологических исследований, включающих определение маркеров экспозиции, позволит выявить нарушения в состоянии здоровья, обусловленные измененной геохимической обстановкой.

### **Публикации**

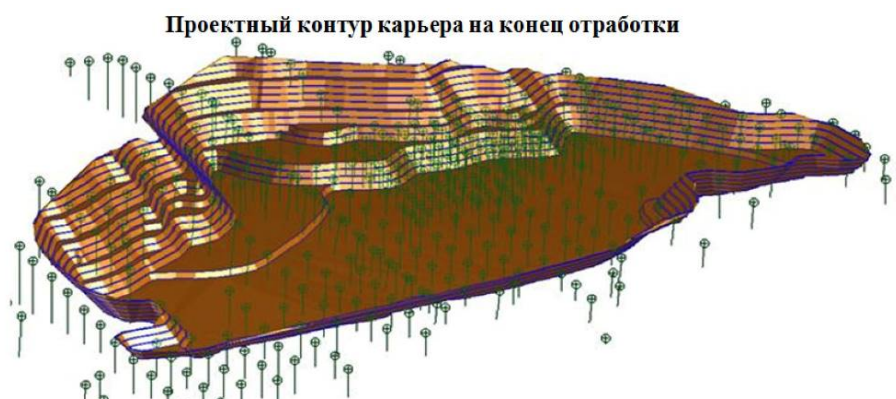
1. Юргенсон Г.А. Геохимические и геоэтические проблемы исторических горнопромышленных территорий. // Материалы XIV Международной научно-практической конференции «Новые идеи в науках о Земле». М: 2019 – С. 202-205.

2. Eremin O., Rusal O., Solodukhina M., Epova E., Yurgenson G. Thermodynamic equilibria of tailings dump pond water of Sherlovaya Gora tin-polymetallic deposit (Transbaikalia). // WRI-16. 16th International Symposium on Water-Rock Interaction, WRI 2019 and 13th International Symposium on Applied Isotope Geochemistry, 1st IAGC International Conference; Tomsk; Russian Federation; 21 July 2019 до 26 July 2019).

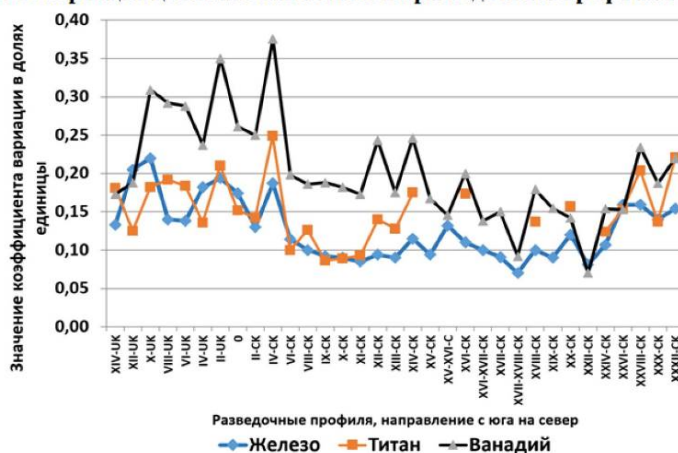
## 2.7. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА УрО РАН

**Направление ФНИ №132. Комплексное освоение и сохранение недр Земли, инновационные процессы разработки месторождений полезных ископаемых и глубокой переработки минерального сырья.**

1. На основе лабораторных и аналитических исследований разработаны и апробированы методика блочного моделирования месторождения, алгоритм и программа автоматизированного расчета заданных статистических оценочных характеристик полезного ископаемого (ПИ), позволяющие с учетом выявленных качественных характеристик ПИ районировать в карьерном пространстве технологические типы руд и в экспресс-режиме оценивать качество ПИ для выбора способа рудоподготовки (рисунок 1).



**Коэффициент вариации ценных компонентов по разведочным профилям в контурах карьера**

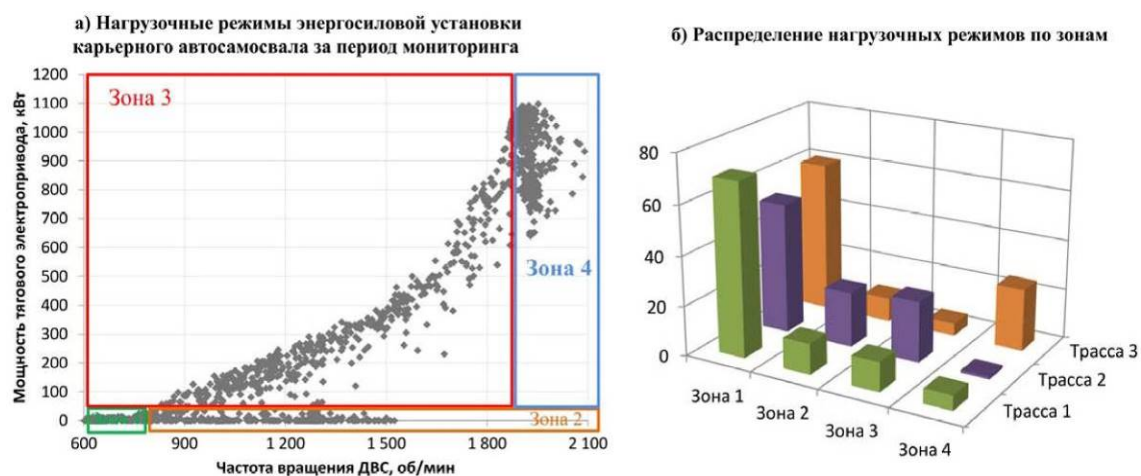


**Рисунок 1 – Результаты блочного моделирования и статистической оценки распределения качества ПИ**

2. Разработана методика и апробирован комплекс аппаратуры для мониторинговых экспериментальных замеров параметров работы карьерной транспортной техники в «естественных» условиях функционирования, позволяющие получать достоверные данные и верифицировать имитационные модели транспортных систем карьеров. Аппаратно-методический комплекс является макетом для разработки методов автоматизированного сбора и обработки данных при формировании элементов цифрового горного производства. Получены новые данные



о параметрах работы карьерных автосамосвалов в условиях реального карьера. Они используются для определения исходных данных при имитационном моделировании движения карьерного автосамосвала по карьерным автодорогам и последующей проверки адекватности модели: отклонение расчетных данных от эксперимента составило не более 5% (рисунок 2).



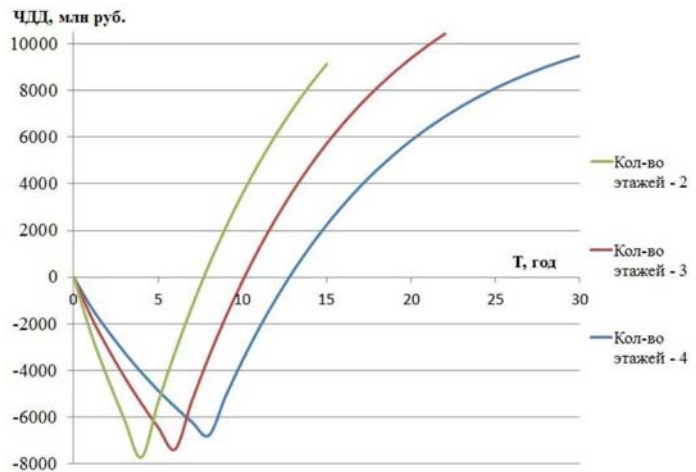
**Рисунок 2 – Идентификация нагрузочных режимов энергосиловой установки (ЭСУ) карьерного автосамосвала по данным замеров путем зонирования (а) и построения диаграммы режимов работы (б)**

3. В развитие методологического подхода к обоснованию стратегии комплексного освоения недр разработано новое направление научных исследований – переходные процессы. Переходные процессы являются этапами комплексной стратегии освоения глубокозалегающих сложноструктурных месторождений при разведке, проектировании и разработке месторождений твердых полезных ископаемых до получения товарной продукции на основе методологического подхода на принципах системности, комплексности, междисциплинарности и инновационной направленности, учитывающих нарастание геологической информации о месторождении при принятии заранее спланированных технологических и технических решений в качестве реакции на изменения внутренних и внешних условий функционирования горного предприятия, включая учет закономерностей их развития при принятии инновационных технологий оценки, добычи, рудоподготовки и обогащения минерального сырья. Обоснованы методы и этапы адаптации горно-технологических систем к изменяющимся условиям разработки глубокозалегающих сложноструктурных месторождений.

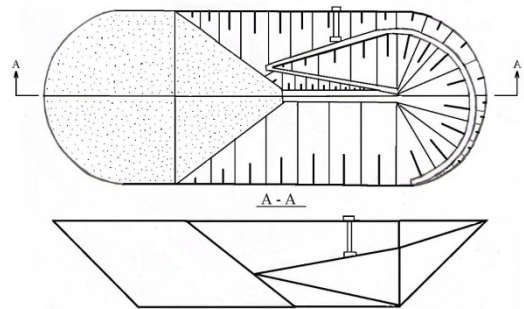
4. Обоснован методологический подход к оценке переходных процессов при комбинированной разработке глубокозалегающих рудных месторождений, базирующийся на комплексном учете горно-геологических, горнотехнических и эколого-экономических факторов и условий, сформированных на этапе завершения открытых горных работ, управлении факторами, действующими в переходной зоне, с целью создания оптимальных условий для освоения запасов в новом стабильном периоде подземных горных работ. Установлено по критерию чистого дисконтированного дохода (ЧДД) оптимальное количество этажей в шаге вскрытия при освоении переходной зоны и основных запасов железорудного месторождения с запасами 0,7 млрд.т и содержанием железа 30%. (рисунок 3).

5. В результате анализа наиболее типичных систем разработки глубокозалегающих месторождений с внутренним отвалообразованием (ВО): поэтапной и сплошной, установлено, что наиболее значительное влияние на объемы ВО оказывают длина и глубина карьеров, в поэтапной системе увеличение длины карьера ведет к увеличению объема ВО, а увеличение глубины наоборот – к его уменьшению, в сплошной системе увеличение длины карьера также обеспечивает увеличение объемов ВО, а влияние его глубины при разной длине карьера проявляется по-разному: при небольшой и средней длине увеличение глубины карьера ведет к увеличению объемов ВО, а при большой длине карьера на объем практически не влияет. В целом поэтапная система разработки является наиболее эффективной при небольшой длине и глубине карьера, а сплошная обеспечивает наибольший объем ВО во всех остальных случаях. (рисунок 4).

**Рисунок 3 – Зависимость ЧДД от количества этажей в шаге вскрытия при освоении переходной зоны и основных запасов железорудного месторождения**



**Рисунок 4 – Сплошная система разработки с внутренним отвалообразованием**

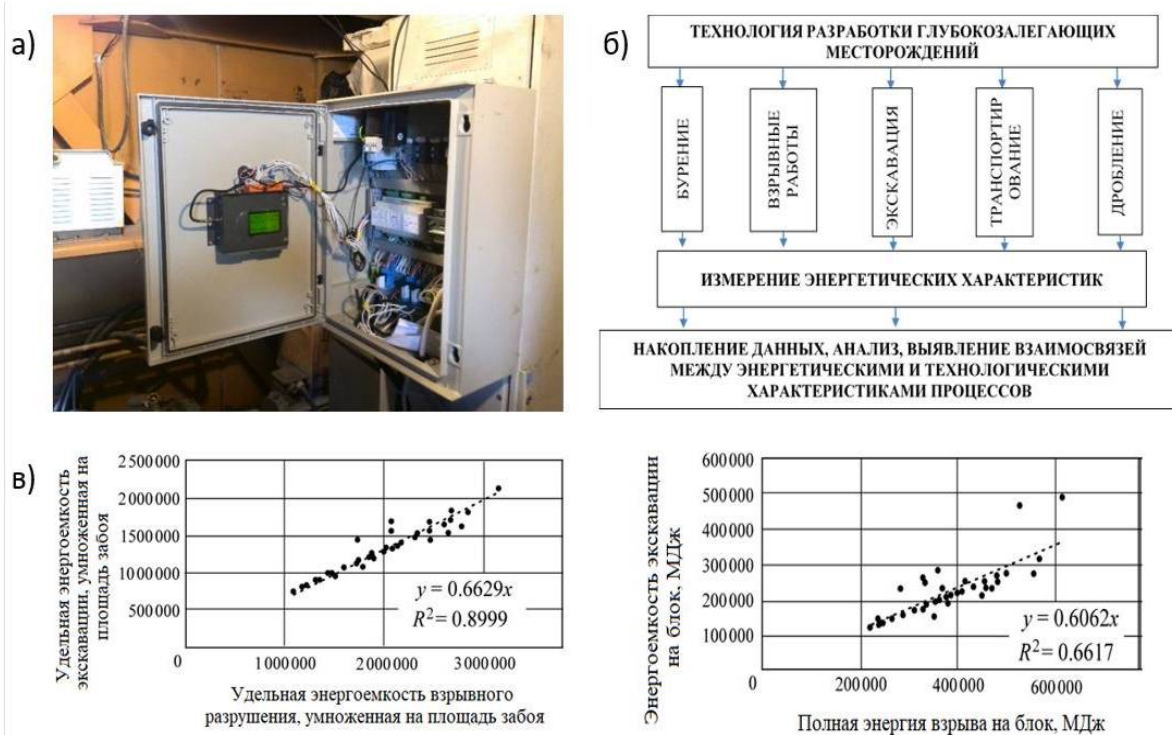


6. Систематизированы основные факторы, определяющие изменение условий подготовки горной массы к выемке буровзрывным способом, предложены технологические приемы реализации переходных процессов, компенсирующие негативное влияние вариабельной среды и повышающие эффективность инноваций в технологию буровзрывных работ. Наиболее значимыми признаны технические мероприятия, связанные с получением оперативных данных о состоянии горных пород в естественном залегании, влияющие на изменение средств инициирования, схем коммутации, конструкции зарядов, а также рецептуры взрывчатых веществ. Указанные параметры, коррелирующиеся с выбором способа бурения, конструкцией станка и бурового инструмента, имеют значительные внутренние резервы и подлежат системной оптимизации (рисунок 5).



**Рисунок 5 – Систематизация основных факторов, предопределяющих необходимость осуществления оптимизации**

7. Выявлена взаимосвязь между энергетическими характеристиками процессов взрывания горной массы и ее экскавации. В результате усовершенствован способ определения прочностных и технологических свойств горных пород при бурении локальных массивов в части учета дополнительных факторов, влияющих на достоверность интерпретации получаемой информации о состоянии массива. Предложено оценивать эффективность адаптации параметров буровзрывных работ к изменяющимся условиям показателем энергоёмкости переработки горной массы, характеризующей накопленную энергоёмкость последовательных процессов бурения, взрывания, экскавации, транспортирования и дробления горной массы на обогатительной фабрике (рисунок 6).

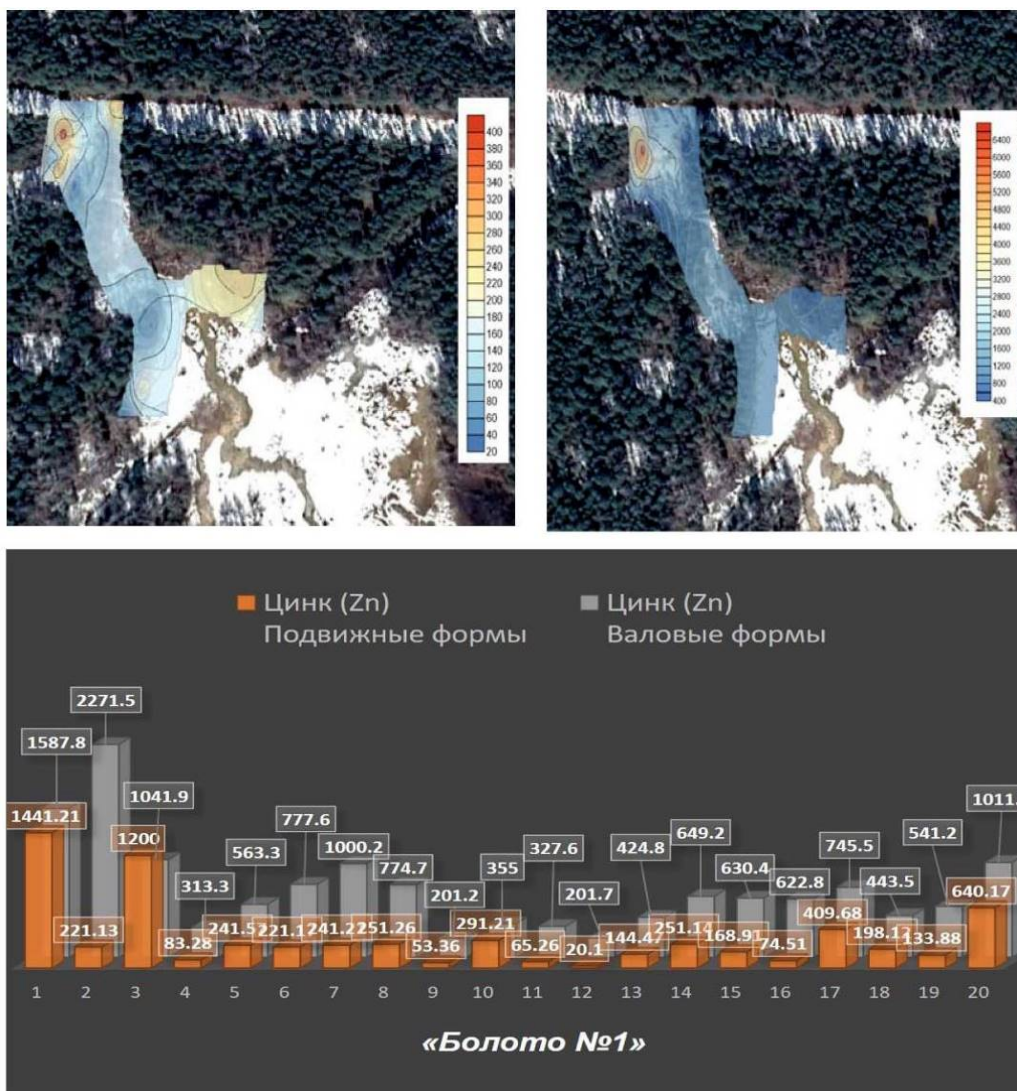


**Рисунок 6 – а) усовершенствованное приборное обеспечение для исследования состояния массива горных пород; б) схема оценки эффективности принимаемых решений в процессе адаптации параметров технологии буровзрывных работ к изменяющимся условиям; в) взаимосвязи между энергетическими характеристиками процессов взрывания и экскавации**

8. На основании экспериментальных исследований механизмов накопления и миграции тяжелых металлов в техногенных минеральных образованиях (рисунок 7):

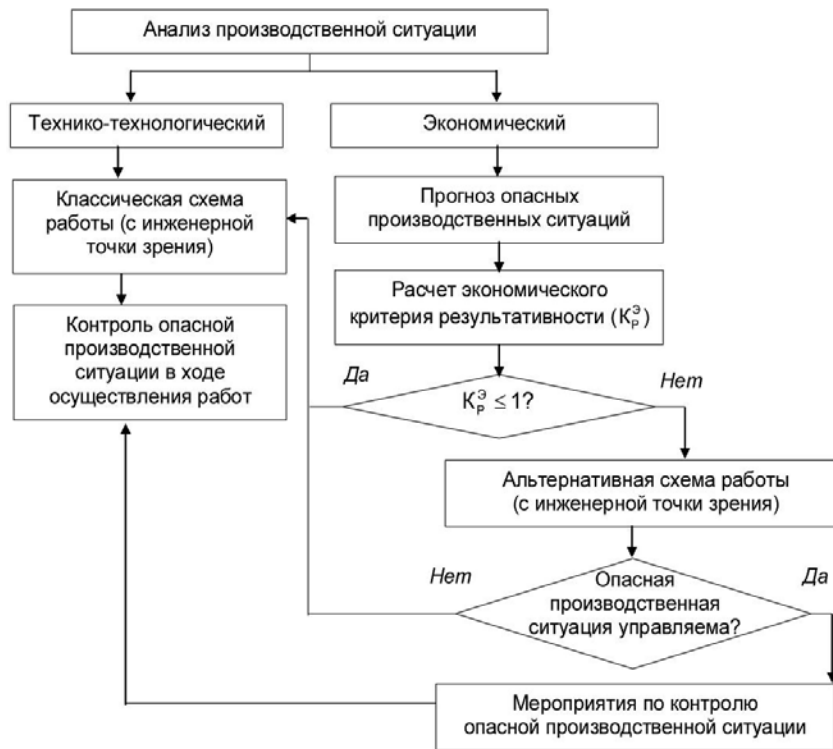
- установлены зависимости концентраций меди и цинка от поглотительной способности органогенного горизонта и биологической активности в поверхностных слоях почвы, несмотря на то, что высокие концентрации тяжёлых металлов в поверхностных слоях почвы оказывают токсичное воздействие, эмиссия CO<sub>2</sub> указывает на интенсивность процесса почвенного развития в районе многокомпонентного загрязнения.
- предложены мероприятия по усовершенствованию приемов экологической реабилитации методами, основанными на процессах самоорганизации экосистем.





**Рисунок 7 – Концентрации водорастворимых и валовых форм цинка в границах площадки проведения натурального эксперимента**

9. Установлено, что при осуществлении переходных процессов в ходе освоения сложно-структурных месторождений управление производственным риском (ПР) (учитывающим как социальные, так и экономические факторы и последствия) позволяет осуществлять поиск, разработку, принятие и реализацию технических, технологических и организационных решений, исключая/смягчающих конфликт между задачами обеспечения эффективности и безопасности производства. Основой управления ПР является контроль опасной производственной ситуации (ОПС). Установлены основные признаки и характеристики ОПС: частота возникновения; выявляемость; причины возникновения; тяжесть социальных и экономических последствий. На основе этих признаков и характеристик осуществлена систематизация ОПС. Систематизация является основой формируемой многофакторной классификации, применение которой в условиях переходных процессов обеспечит прогноз возникновения, оперативное выявление и устранение опасных производственных ситуаций, характерных для угледобывающих предприятий (рисунок 8).



**Рисунок 8 – Принципиальная схема осуществления производственного планирования, основанная на управлении производственным риском посредством контроля опасных производственных ситуаций**

**Направление ФНИ №136. Катастрофические эндогенные и экзогенные процессы, включая экстремальные изменения космической погоды: проблемы прогноза и снижения уровня негативных последствий.**

1. Разработаны основы метода экспериментальных исследований параметров и закономерностей распределения скоростей и амплитуд современных геодинамических движений на территории Российской Федерации с использованием данных высокоточных геодезических сетей и постоянно действующих станций GNSS, включающего четыре этапа оценки геодинамической активности от территории РФ до площадки размещения объекта недропользования:

- I – оценка на уровне территории Российской Федерации или ее части;
- II – оценка на региональном уровне (например, на уровне Уральского Региона);
- III – оценка на уровне месторождения полезного ископаемого;
- IV – оценка на уровне объекта недропользования (прибортовой массив, мульда сдвижения, охраняемый объект и др.).

Результаты исследований позволяют произвести прогнозную оценку и ранжировать территорию Российской Федерации по риску техноприродных катастроф с целью принятия превентивных мер по снижению вероятности их проявления (рисунок 9).

2. Разработана методика инструментальных натуральных исследований современной геодинамической активности верхней части земной коры, предусматривающая прямые замеры смещений с использованием эффекта самоорганизации и изменений напряженно-деформированного состояния при ведении горных работ. Главным критерием выделения самоорганизующегося породного блока на любом масштабном уровне является способность формирующихся его блоковых структур более мелкомасштабных иерархий реагировать на внешнее силовое воздействие как единое целое в течение рассматриваемого периода времени, которая выявляется по результатам одномерного дисперсионного анализа (рисунок 10).



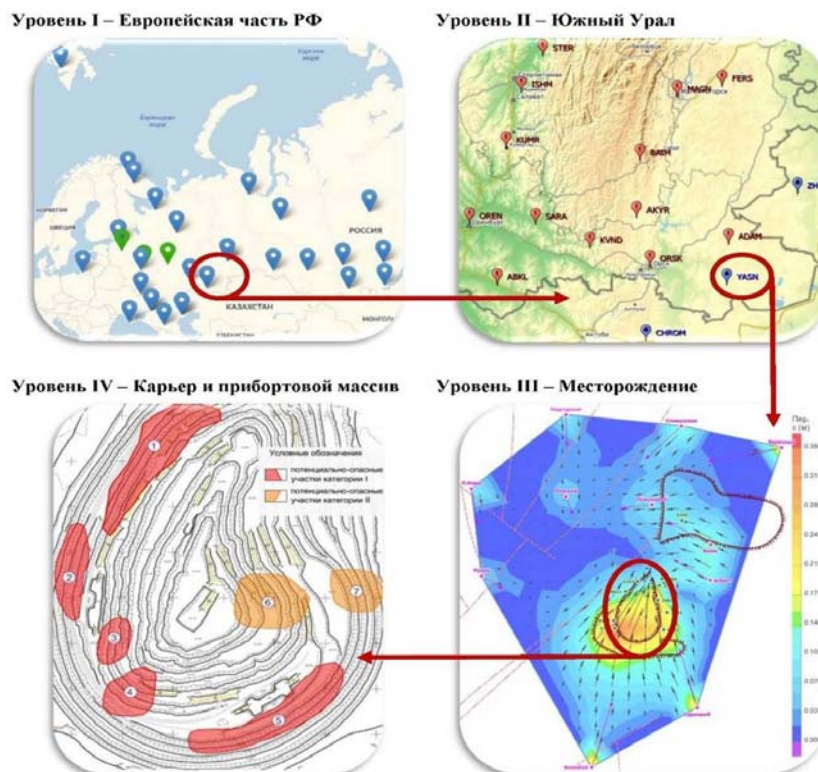


Рисунок 9 – Этапы оценки современной геодинамической активности

3. На основе наблюдений более 100 случаев обрушений земной поверхности и воронкообразования, вызванных подземной разработкой рудных месторождений, выполнен анализ и обобщение их параметров, на основе которого установлено, что:

- активное деформирование поверхности внутри воронки обрушения продолжается четырнадцать дней, после чего величина деформаций внутри воронки резко снижается;
- до 60% зоны обрушения, сформировавшейся от отработки рудного тела, деформируется с неопасными значениями, которые позволяют вести на поверхности открытые горные работы;
- зону обрушения по перспективности использования можно условно разделить на несколько категорий в зависимости от плана горных работ и плана ведения открытых горных работ (рисунок 11).

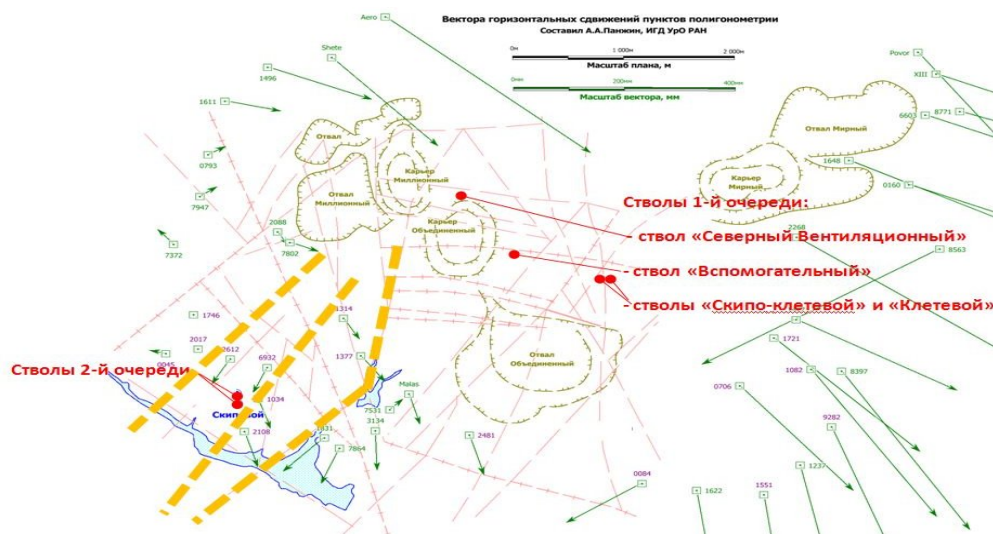
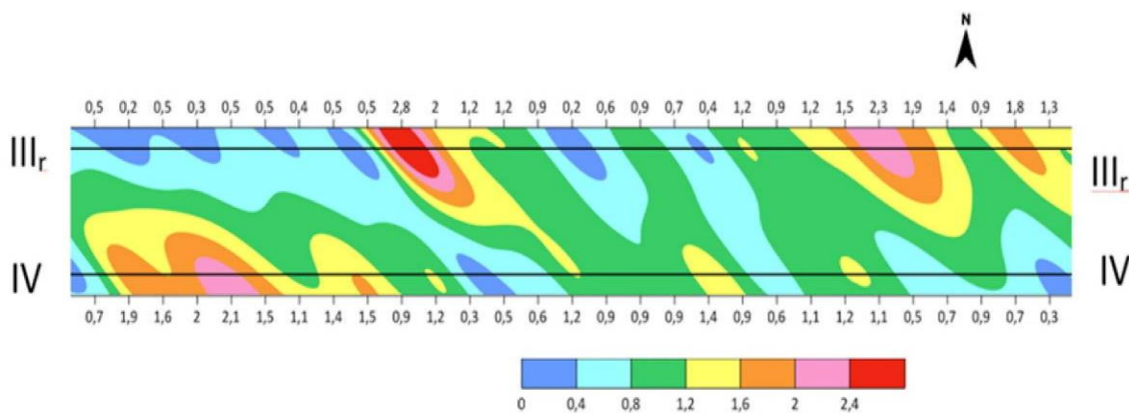


Рисунок 10 – Породные блоковые структуры (выделены пунктиром), самоорганизующиеся под воздействием современной геодинамической активности, выявляемой на поверхности шахтного поля по векторам смещений реперных пунктов



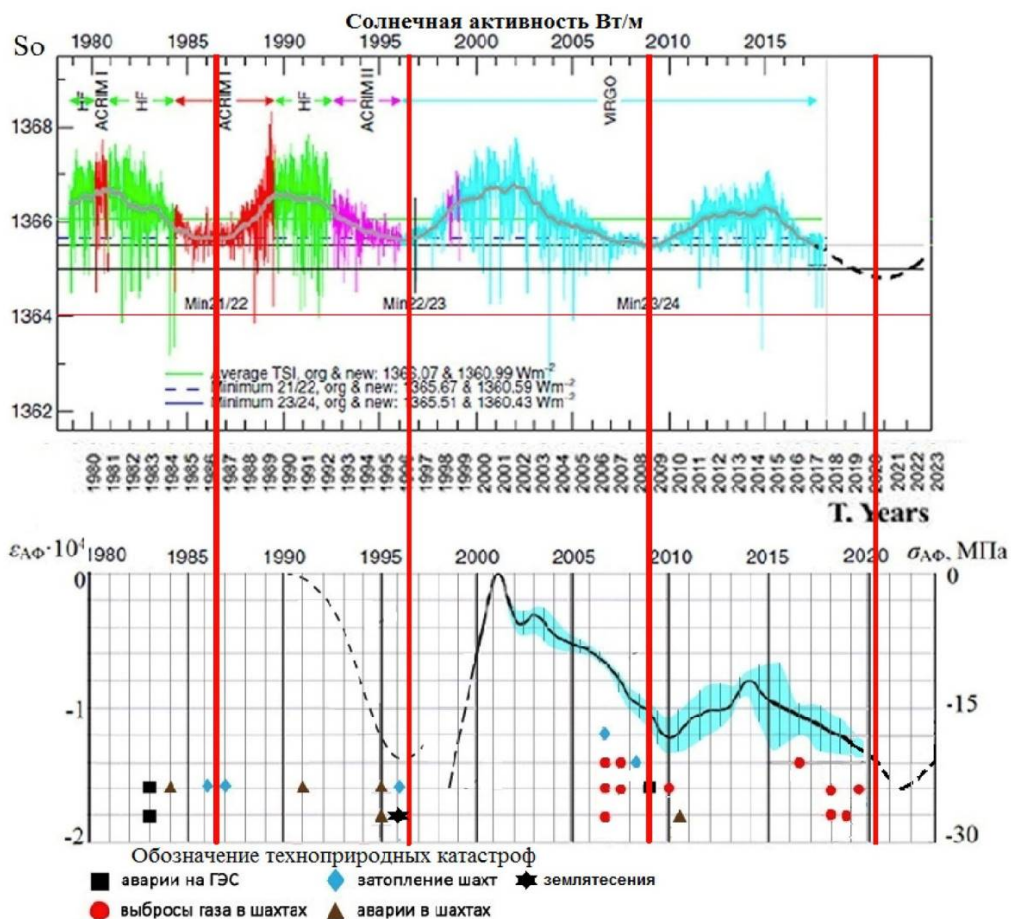
**Рисунок 11 – Перспектива использования зоны обрушения от подземной разработки Соколовского месторождения**

4. На основе исследований распределения радоновых эманацй в прибортовом массиве карьера – разработана инновационная экспресс-методика геодинамического структурирования массива горных пород, позволяющая количественно его ранжировать по степени современной геодинамической активности. Установлено, что использование методики при исследовании современной геодинамической активности горного массива значительно повышает информативность и достоверность результатов с целью обеспечения безопасности объектов недропользования (рисунок 12).



**Рисунок 12 – Геодинамическое структурирование участка прибортового массива карьера (план) с использованием радонометрии**

5. Показано, что напряженно-деформированное состояние массива горных пород формируется в результате действия гравитационных, тектонических и переменных сил. Гравитационная составляющая определяется весом пород ( $\gamma H$ ), тектоническая измеряется экспериментально, на конкретном месторождении, и она находится в пределах  $0 \div 40$  МПа. Переменная составляющая зафиксирована как единая для всей Земной коры в пределах  $0 \div 20$  МПа и максимальная скорость ее роста до 2022 года прогнозируется на  $3 \div 4$  МПа в год. Переменные напряжения, суммируясь с гравитационными и тектоническими составляющими массива горных пород, в периоды экстремумов могут инициировать техноприродные аварии и катастрофы на горнодобывающих предприятиях (рисунок 13).

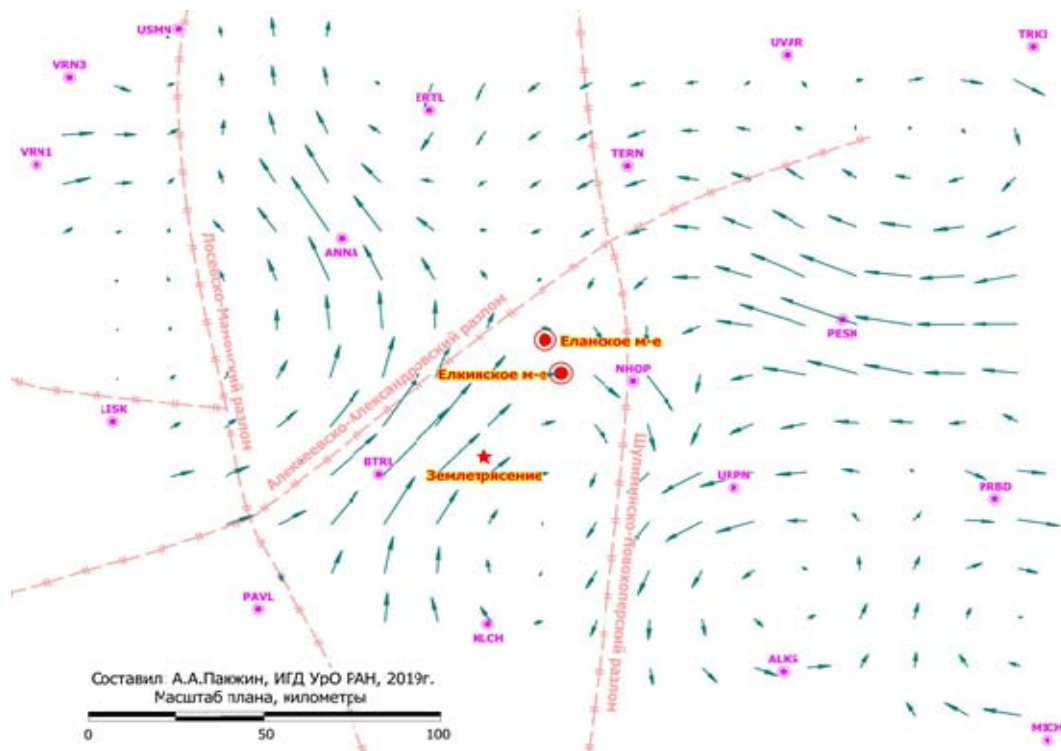


**Рисунок 13 – Изменение средних значений параметров напряжённо-деформированного состояния массива горных пород в горнорудных районах (Абаза; Нижний Тагил; Берёзовский, Гай, Красноуринск). на фоне изменения излучающей способности Солнца  $S_o$  с обозначением техноприродных аварий и катастроф**

**Направление ФНИ №138. Научные основы разработки методов, технологий и средств исследования поверхности и недр Земли, атмосферы, включая ионосферу и магнитосферу Земли, гидросферы и криосферы; численное моделирование и геоинформатика: инфраструктура пространственных данных и ГИС-технологии.**

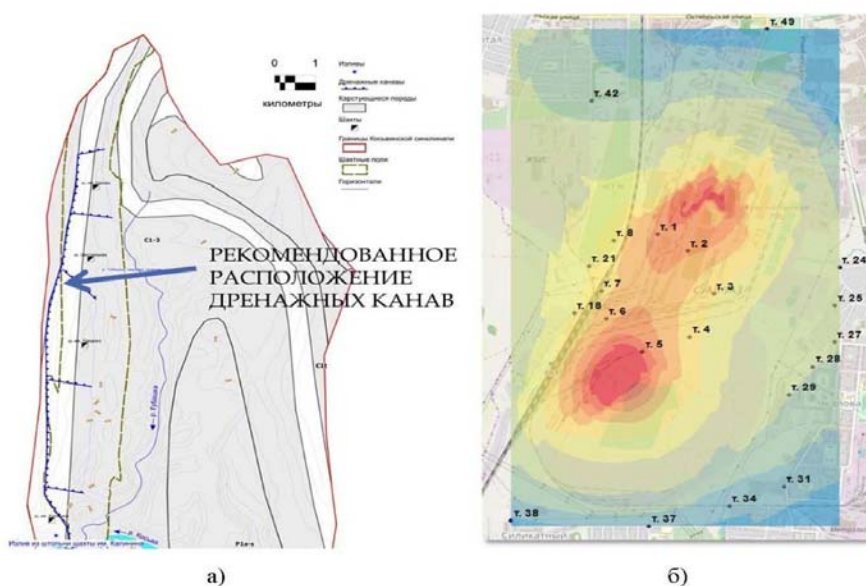
1. Обоснованы основные положения методики мониторинга и визуализации современных геодинамических движений в виде векторного поля по результатам цикловых геодезических измерений. На основании экспериментальных данных, полученных на Воронежском кристаллическом массиве (ВКМ) по результатам деформационного мониторинга по постоянно действующим на территории региона станциям GNSS, установлен вихревой характер современных геодинамических движений как индикатор активных тектонических нарушений. Это позволяет на основании геоинформационного моделирования выделять активные геологические структуры, блоки, тектонические разломы за счет анализа поля сдвижений и деформаций, что необходимо для прогнозирования мест возможных сейсмических событий и обоснования профилактических мер по обеспечению безопасности населения, промышленных объектов и др. (рисунок 14).





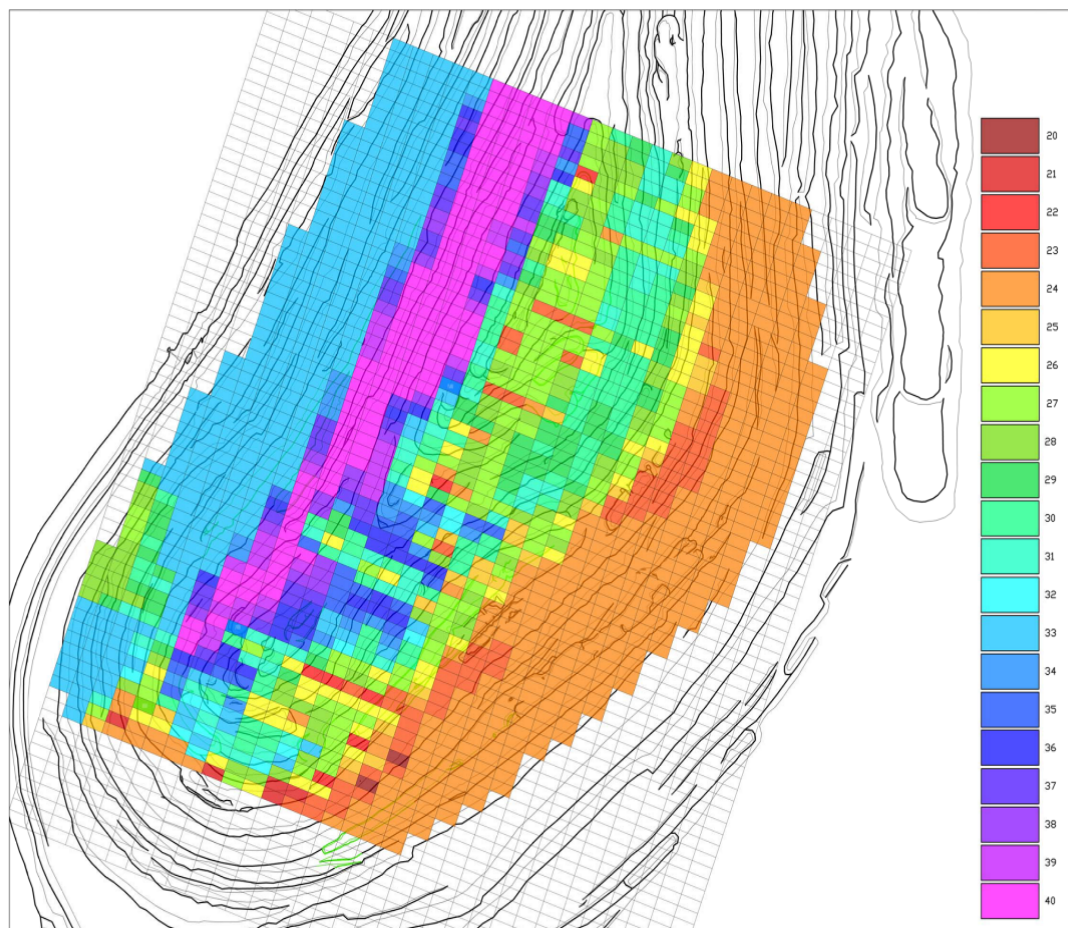
**Рисунок 14 – Вихревой характер современных геодинамических движений на ВКМ**

2. Разработана методика создания геофильтрационных моделей водных объектов, обоснованы принципы геометризации и подготовки цифровых моделей рельефа, водоносных горизонтов и угленосных толщ. На примере Кизеловского угольного бассейна оценены количественные индикаторы, определяющие закономерности изменения балансовых составляющих для разных этапов развития территории: естественные ненарушенные условия, отработка с шахтным водоотливом, текущая ситуация с излиями шахтных вод. Систематизированы подходы к выбору методов геостатистики для оценки загрязнения воздуха. Разработана методика подбора вариограмм и декластеризации данных о распределении загрязняющих компонентов воздуха горнопромышленного ландшафта, которая позволила надежно выявить геохимические аномалии, классифицировать источники загрязнения воздуха (рисунок 15).



**Рисунок 15 – Индикаторы изменения балансовых составляющих подземных вод и загрязняющих компонентов воздуха горнопромышленного ландшафта:**  
*а) мероприятия по снижению излияев шахтных вод по результатам моделирования;*  
*б) определение геохимических аномалий методами геостатистики*

3. Для горно-геологических условий прибортового массива Джетыгаринского карьера геоинформационными методами выполнено комплексное районирование для обоснования устойчивых значений углов откосов на основе рейтинга MRMR, учитывающего физико-механические свойства, структуру и текстуру слагающих массив пород, обводненность участков месторождения, параметры ведения взрывных работ и проч. По результатам моделирования установлено, что при достигнутых значениях рейтинга MRMR от 20 до 40 рекомендуемые углы откосов уступов составляют от 40° до 50°; при сопоставлении фактических устойчивых и модельных значений углов откосов доказано, что использованная рейтинговая классификация позволяет выполнять многоуровневую обработку геоданных массива горных пород с количественной оценкой его долговременной устойчивости (рисунок 16):



**Рисунок 16 – Районирование поверхности Джетыгаринского карьера в зависимости от значений рейтинга MRMR**

4. Систематизированы накопленные на территории Свердловской области техногенно-минеральные образования, по степени: глубины экономически целесообразной переработки при утилизации отходов недропользования; снижения класса опасности отходов в результате их переработки; необходимости нейтрализации отходов; направления рекультивации техногенно-минеральных образований. Предложенная систематизация определила подходы к структуре и функциональному назначению информационно-аналитической составляющей ГИС мониторинга горных предприятий (рисунок 17).



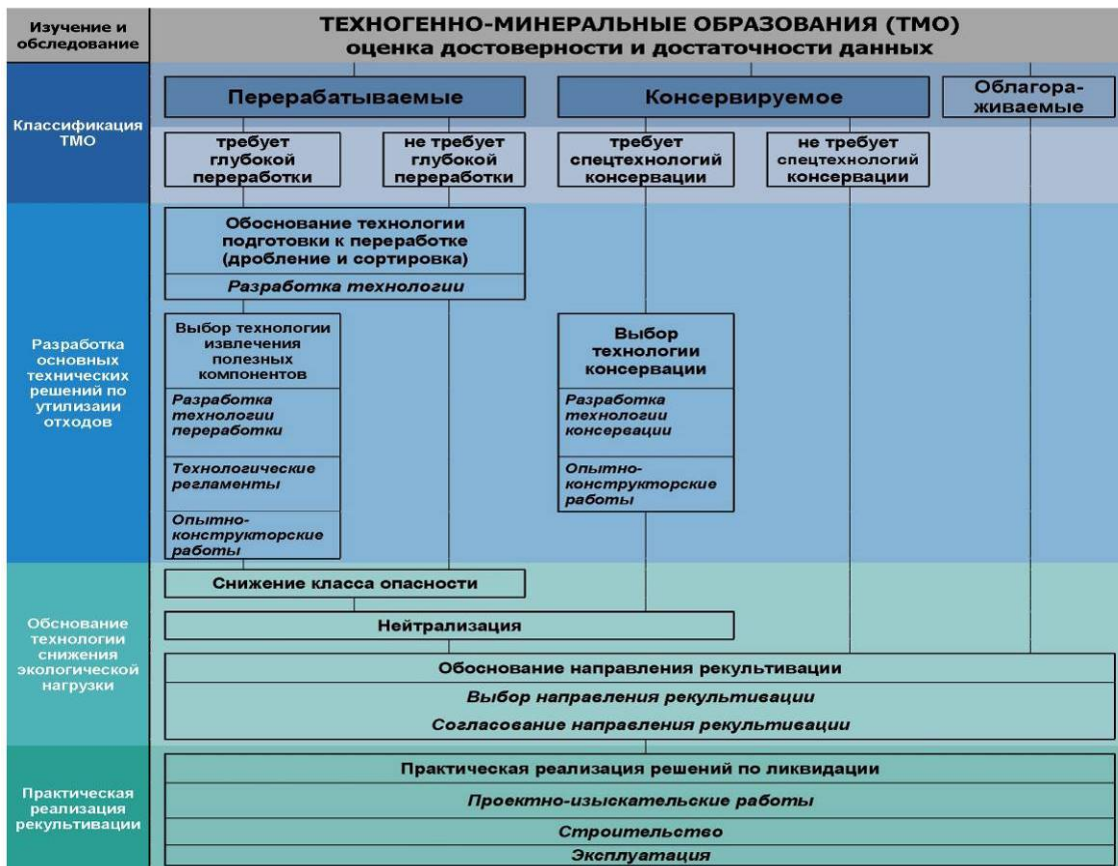


Рисунок 17 – Систематизация способов ликвидации накопленных техногенно-минеральных образований

## 2.8. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ПЕРМСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР УрО РАН «ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ УрО РАН»

125. Фундаментальные проблемы развития литогенетических, магматических, метаморфических и минералообразующих систем

*Геохимическая и минералогическая эволюция осадконакопления в соликамском палеобассейне*

Руководитель темы: д.г.-м.н. Чайковский И.И.

Объект исследований: Соликамская впадина и примыкающие к ней структуры.

**Цель работы:** Реконструкция условий осадконакопления в Соликамской впадине, особенности формирования проявлений меди и состава подземных вод, а также геохимические и технологические исследования, направленные на комплексное использование полезных ископаемых Верхнекамского месторождения и продуктов его обогащения.

**Методология проведения работ:** документация и опробование горных выработок, керн на скважин и обнажений, построение разрезов и анализ цикличности, минералогические и электронно-микроскопические исследования пород и руд, гидрохимический анализ подземных вод.

**Результаты работы:**

1. Выявлена и охарактеризована новая для Пермского края экосистема и новообразованные минеральные ассоциации, связанные с разгрузкой холодных (4°C) хлоридно-натриевых рассолов Людмилинской скважины (Соликамск) разгрузавшихся с 1923 г. по 2019 г. (рисунок 1). Выявлено 2 вида беспозвоночных животных, 8 таксонов пениатных диатомей, в том числе галофильных, серо- и железобактерии и более 20 минеральных видов. Кроме кальцита и пирита

здесь установлены самородные фазы (Cu, Ag, Ni, бронза), сульфиды (Cu, Ag, Ni, Fe), сульфохлориды (Cu, Ag, Ni), хлориды (Ag, Cu) и др. Показано, что осаждение минералов на земной поверхности происходит как химически, в том числе за счет обогащения кислородом и падением давления углекислого газа, так и при участии *бактерий* и водорослей (рисунок 1).

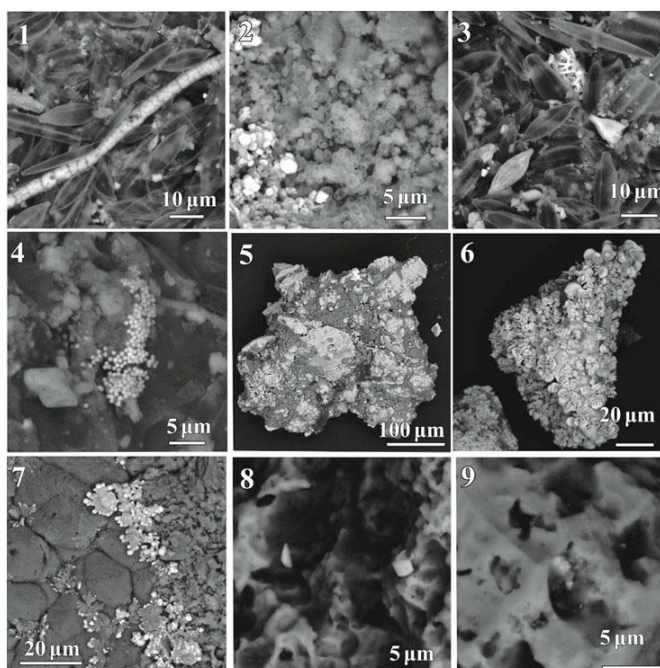


**Рисунок 1 – Общий вид устья Людмилинской скважины и харовых водорослей с налетом белесых серобактерий**

2. Уфимские отложения соликамской впадины формировались на фоне постепенной смены лагунных обстановок морскими, а затем континентальными в течение 29 циклов, которые обусловили проявление следующих соответствующих литологических последовательностей: глинистый мергель → доломит → гипс → галит; песчаник → глина известковая → известняк; песчаник → аргиллит → известняк. Полученные результаты вошли в диссертационную работу Д.Е. Трапезникова (2019) «Палеогеографические и палеотектонические обстановки Соликамской впадины в уфимское время».

3. Установлена природа парадоксального пространственного сонахождения сульфидов и ванадатов меди, характерного для восточной полосы меденосности Приуралья, которая связана с пестроцветными отложениями шешминской свиты уфимского яруса. Показано, что на минеральный состав медистых песчаников оказывает влияние не только петрофонд, форма проявления органического вещества и интенсивность проявления гипергенных процессов, но и условия проявления диагенеза. Их резкая смена и объясняет сонахождение несовместимых сульфидов и ванадатов (рисунок 2).

**Рисунок 2 – Обитатели зоны разгрузки рассолов Людмилинской скважины и связанные с ними минеральные образования:**  
**1 – тиобактерии, содержащие гранулы самородной серы** 2, 3 – замещенные гидроксидами железа коккоидные формы и диатомеи; 4 – бактериальный (фрамбоидальный) пирит; 5 – марказит; 6, 7 – листоватые и дендритовидные формы проявления сульфидов меди ряда халькозин-ковеллин; 8, 9 – серебросодержащая самородная медь и хлорид серебра на поверхности зерен пирита



4. Выявлены новые перспективы Верхнекамского месторождения в отношении скандия, ранее неисследованного флотационного шлама (концентрирующего до 15 г/т платины, палладия и серебра), а также комплексирования отходов калийной и фосфатной промышленности для получения удобрений пролонгированного действия, содержащего все необходимые питательные компоненты.

5. Установлено, что мощная зона разгрузки подземных вод Соликамского карстового района сформировалась под влиянием тектонических и литологических факторов. Здесь выделяются 2 типа гидрохимических фаций (гидрокарбонатно-кальциевая и гидрокарбонатно-кальциево-сульфатная), связанных с зонами дробления и разломов, благоприятных для формирования трещинно-карстовых вод и их концентрированной разгрузки.

6. Выявленная акцессорная борная минерализация в соляной толще и ее последующее изучение в МГУ позволило расшифровать ранее неизвестную структуру минерала галлургита  $Mg_4[B_8O_{13}(OH)_2]_2 \cdot 7H_2O$ .

## **132. Комплексное освоение и сохранение недр Земли, инновационные процессы разработки месторождений полезных ископаемых и глубокой переработки минерального сырья**

### ***1. Исследование характера деформирования и разрушения квазипластичных горных пород в сложных условиях нагружения***

Руководитель темы: д.т.н., проф., академик РАН Барях А.А.

Объектом исследования является породный массив.

**Цель работы:** комплексные экспериментально-теоретические исследования особенностей деформирования и разрушения горных пород в условиях интенсивной крупномасштабной отработки месторождений, направленные на обеспечение безопасности горных работ.

**Методология проведения работ:** лабораторные экспериментальные исследования деформирования и разрушения горных пород, физическое и математическое моделирование напряженно-деформированного состояния элементов систем разработки месторождений полезных ископаемых.

#### ***Результаты работы:***

1. Проведены испытания квазипластичных сильвинитовых пород на ползучесть в условиях сложного напряженного состояния. Эксперимент проводился по схеме Кармана при боковых давлениях 0, 5 и 7,5 МПа. По результатам эксперимента строились кривые “время – деформация”, по которым определялись скорость установившейся ползучести, а также параметры линейно-наследственной ползучести.

2. Построены кривые длительной прочности сильвинита при различном боковом давлении. Определены коэффициенты длительной прочности, составляющие: 0,48 ( $\sigma_3 = 0$  МПа), 0,37 ( $\sigma_3 = 5$  МПа) и 0,27 ( $\sigma_3 = 7,5$  МПа). Установлена предварительная зависимость коэффициента длительной прочности от вида напряженного состояния (одноосное, объемное), которая свидетельствует о необходимости учета этого фактора при оценке долговременной несущей способности целиков различной формы. В этой связи целесообразно продолжить аналогичные реологические исследования на образцах с различным соотношением высоты к ширине с последующей адаптацией полученных результатов на междукамерные целики.

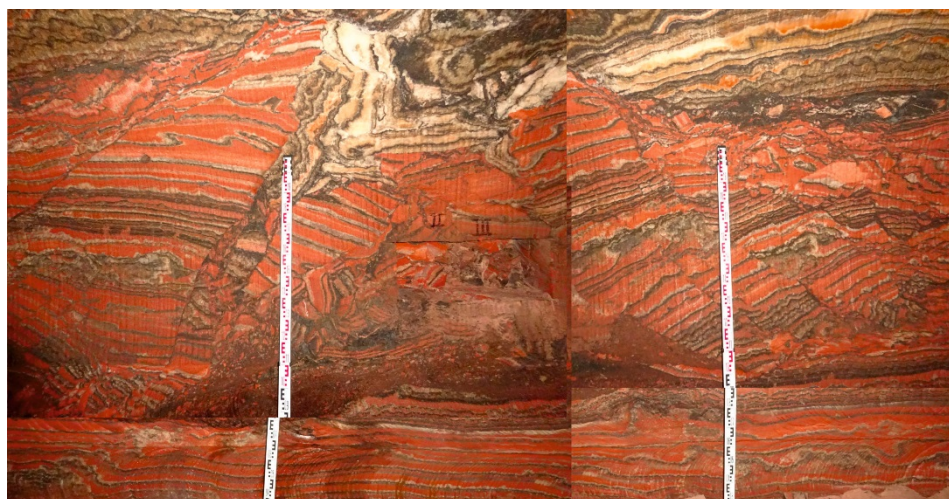
3. Проведены модельные испытания искусственных слоистых образцов на одноосное сжатие с построением полных диаграмм деформирования. По результатам определения прочностных свойств построены зависимости изменения прочности слоистых образцов в зависимости от соотношения цемент/песок и толщины слабого слоя. Даны оценки агрегатной прочности модельных образцов по формулам арифметического, гармонического и логарифмического средневзвешенных. Установлено, что в целом, наиболее близкими к результатам лабораторных испытаний, являются расчеты, полученные по формуле гармонического средневзвешенного. Вместе с тем, ее применение дает достаточно большое расхождение с полученными экспериментальными данными. В этой связи, необходимо проведение дополнительных исследований, направленных на построение новой расчетной зависимости, отражающей как качественное, так и количественное изменения прочности слоистых образцов (целиков) при варьировании соответствующих прочностных характеристик и толщин составляющих слоев.



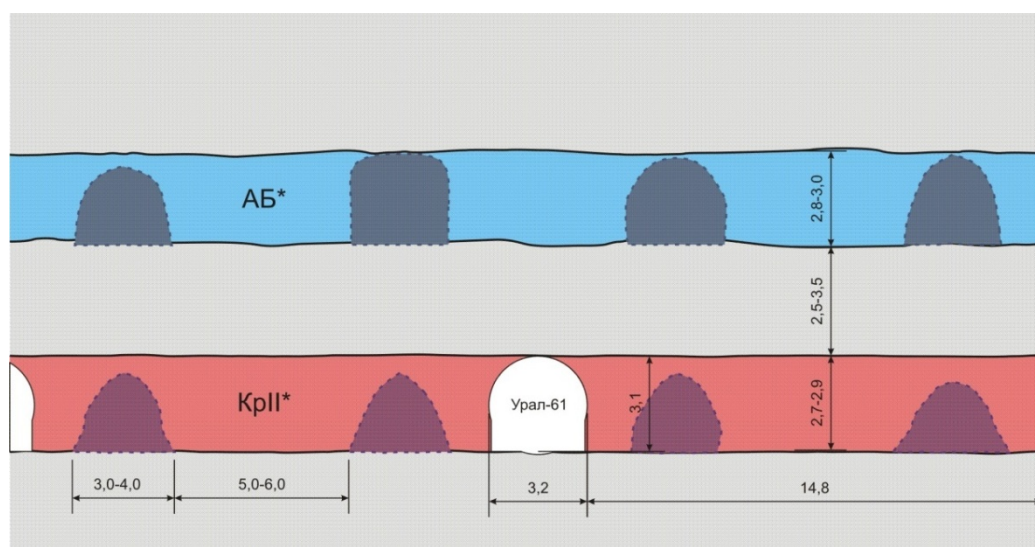
4. Разработана геомеханическая модель, отражающая процессы разрушения надсоляной толщи в ходе ускоренных деформаций вследствие растворения соляных пород в верхней части ВЗГ. В качестве количественных критериев, определяющих формирование провалов на земной поверхности, предложены степень снижения механических свойств пород надсоляной толщи и характерные размеры водопроводящего канала в соляной толще, образованного вследствие растворения пород.

5. Методами математического моделирования процесса образования провала на земной поверхности на участке прорыва пресных вод в выработанное пространство получена скорость увеличения водопроводящего канала, находящаяся в диапазоне экспериментальных и теоретических значений. По результатам численных расчётов получена диапазонная оценка предельных размеров водопроводящего канала (5-10 м) и времени образования провала на земной поверхности (250-500 суток).

6. Впервые в мировой практике камерной системы разработки калийных месторождений доказана принципиальная возможность повторной отработки техногенного сильвинитового пласта, сформировавшего вследствие разрушения податливых междукамерных целиков, деформации и обрушения пород кровли (рисунок 3). Натурными и теоретическими исследованиями обоснована оптимальная схема отработки, основанная на проходке вторичных камер согласно первичным междукамерным целикам с удвоенным межосевым расстоянием (рисунок 4).



**Рисунок 3 – Техногенный сильвинитовый пласт**



**Рисунок 4 – Схема отработки техногенного пласта**

Повторная отработка существенно повысит извлечение промышленных запасов из недр и увеличит срок службы калийных предприятий без значительных капитальных затрат на разведку и подготовку новых участков.

## **II. Исследование и разработка систем контроля и управления термодинамическими и аэрологическими процессами в рудничной атмосфере и массивах горных пород при строительстве и эксплуатации горных предприятий в сложных горнотехнических условиях**

Руководители темы: д.т.н. Левин Л.Ю., д.т.н., проф. Андрейко С.С.

**Объекты исследования:** вентиляционные сети шахт и рудников, окружающий их породный массив.

**Предмет исследования:** динамика аэро-, газо- и термодинамических параметров в атмосфере шахт и рудников при различных горнотехнических условиях.

**Цель работы:** построение математических моделей протекания аэрологических и термодинамических процессов в воздухе и породе с выработкой, выяснение закономерностей этих процессов в зависимости от внешних условий, разработка технических решений по контролю и управлению этими процессами.

**Методология проведения работ:** численные и натурные экспериментальные исследования динамики аэро-, газо- и термодинамических параметров воздуха в системах горных выработок; теоретический анализ существующих аналитических решений уравнений переноса массы, импульса и энергии в системе «рудничная атмосфера-огибающий породный массив».

### **Результаты работ:**

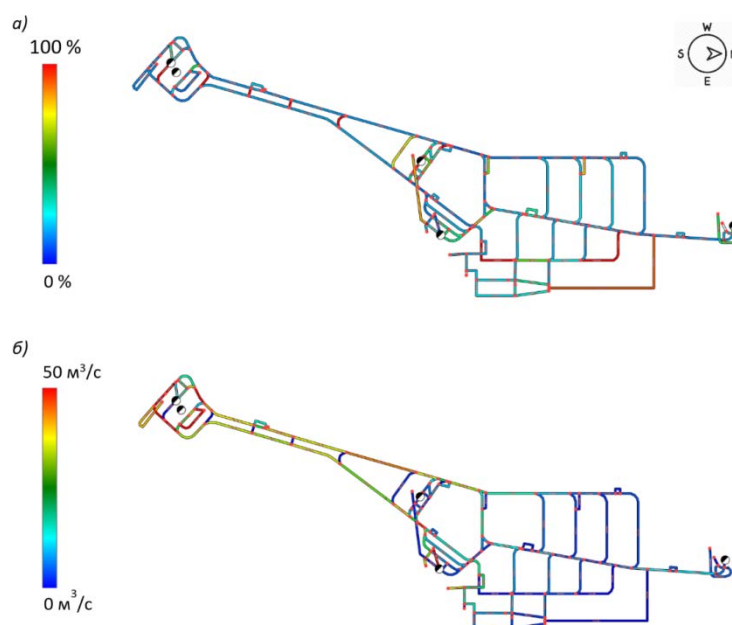
1. Исследованы закономерности конвективного движения воздуха в вентиляционных стволах после отключения или реверсирования главной вентиляторной установки. В приближении плоскопараллельного ламинарного течения несжимаемой среды с вертикальным градиентом температуры в поле силы тяжести определены поперечные профили скорости движения и температуры воздуха. Получено значение критического параметра Рэлея и критического градиента температур, характеризующих переход к неустойчивому течению воздуха в вертикальной горной выработке. Дополнительно в модели учтена поправка к коэффициенту объемного расширения воздуха, позволяющая учесть гидростатическую сжимаемость воздуха при расчете критического градиента температур.

2. Проведено многопараметрическое численное моделирование проветривания тупикового забоя после проведения буровзрывных работ. Принималось, что проветривание тупика осуществляется нагнетательным способом с помощью вентиляционного трубопровода. Исследована интенсивность выноса вредных примесей с течением времени в зависимости от параметров горной выработки и схемы проветривания. Показано, что данная зависимость имеет вид затухающей экспоненты, в показателе которой есть неизвестный параметр, характеризующий скорость уменьшения концентрации вредных примесей. Получена зависимость данного параметра (коэффициента эффективности проветривания) от расстояния от конца трубопровода до забоя. Определено, что с точки зрения проветривания для выработки сечением  $17 \text{ м}^2$  наиболее эффективным является расстояние 45 м от конца трубопровода до груди забоя. Для выработок с другим сечением, с другим размером и расположением трубопровода эффективное расстояние будет иметь другое значение. В каждом отдельном случае необходимо корректировать модель и делать расчеты с учетом новой конфигурации. Следует отметить, что увеличение расстояния от конца трубопровода до забоя позволит сократить трудозатраты на монтаж трубопровода и ускорит выполнение основных операций по проходке выработки. Проведенные исследования позволили рекомендовать для инженерных расчетов (например, при оценке времени проветривания выработки после взрывных работ или при расчете количества воздуха, требуемого для проветривания выработки за определенное время) использовать для коэффициента эффективности проветривания значение 0,6, которое соответствует наименее эффективному выносу вредных примесей.

3. Разработаны алгоритмы расчета устойчивости воздушных потоков в системе горных выработок, позволяющие за счет использования методов математической статистики и принципа субмоделирования существенно снизить вычислительную трудоемкость решаемой зада-



чи. Для количественной оценки устойчивости расходов воздуха предложены новые критерии: гарантированный минимальный расход воздуха и относительное отклонение воздушного потока от среднего. Алгоритм реализован программно и интегрирован с методами расчета аэро-, газо- и термодинамических параметров рудничной атмосферы, ранее разработанными авторами и реализованными в аналитическом комплексе «АэроСеть» (см. рисунок 5).



**Рисунок 5 – Подсечной горизонт рудника «Таймырский» (-1100 м); (а) – распределение относительных отклонений расхода воздуха, (б) – распределение гарантированных минимальных расходов воздуха; расчет и визуализация выполнены в аналитическом комплексе «АэроСеть»**

Впервые произведен комплексный учет различных факторов, влияющих на устойчивость воздухораспределения в системе горных выработок: тепловая и газовая депрессии, переменные аэродинамические сопротивления и источники тяги. В результате практического применения алгоритма, для ряда рудников разработаны мероприятия по улучшению устойчивости проветривания проблемных горных выработок, что позволило повысить аэрологическую безопасность при ведении горных работ в условиях разветвленных и динамически меняющихся вентиляционных сетей рудников.

### **III. Исследование и разработка систем контроля и управления термодинамическими, геомеханическими и аэрологическими процессами при строительстве и эксплуатации горных предприятий в сложных горнотехнических условиях**

Руководитель темы: к.т.н. Федосеев А.К.

**Объект исследований:** рудничный воздух и породные массивы.

**Цель работы:** разработка методов расчета, контроля и управления аэрологическими, теплофизическими и геомеханическими процессами в сложных горнотехнических условиях, направленных на обеспечение безопасности горных работ.

**Методология проведения работ:** математическое моделирование аэрологических, теплофизических и геомеханических процессов.

**Результаты работы:**

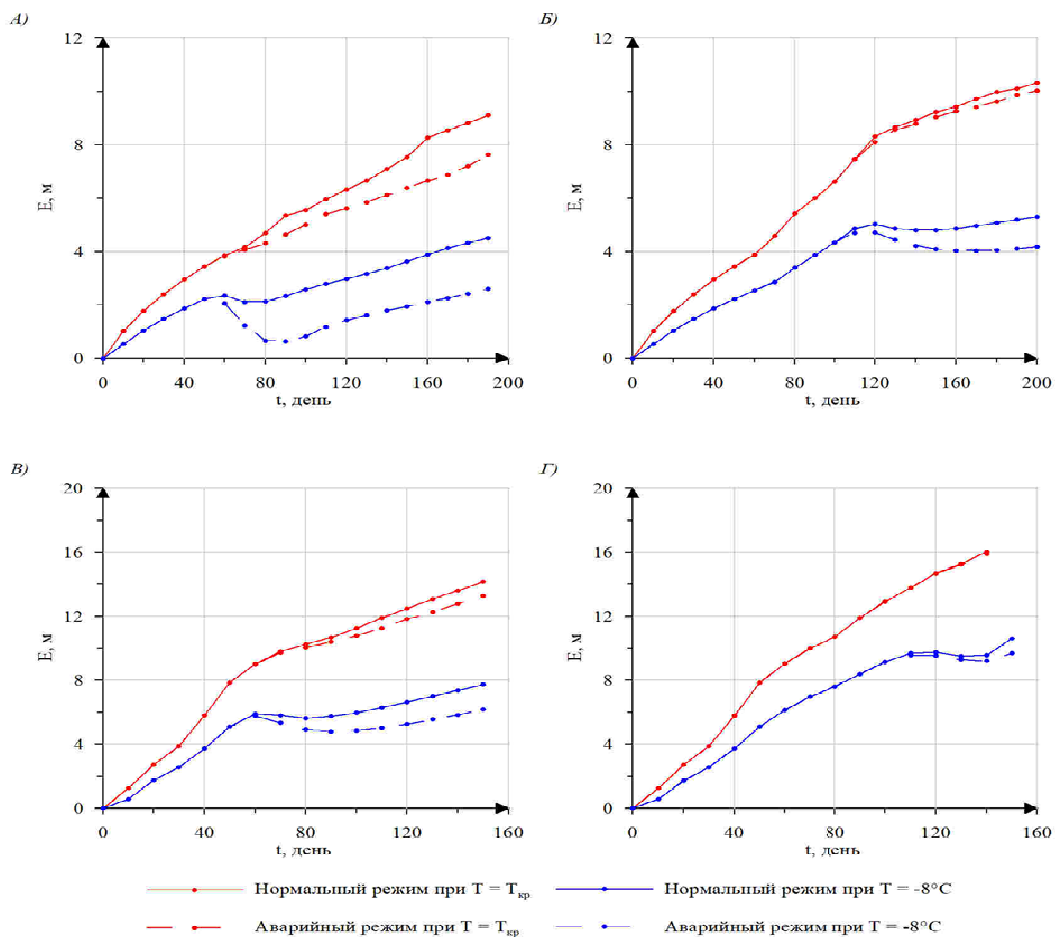
1. Разработан алгоритм интеллектуализированного оптимального управления вентиляцией калийных рудников, основанный на применении методов нечеткой логики. Проведено исследование эффективности работы данного алгоритма с помощью имитационного моделирования в аналитическом комплексе «АэроСеть». Показано, что применение нечеткой логики

второго порядка в системах автоматического управления проветриванием на шахтах и рудниках приводит к следующим положительным результатам:

- повышение скорости реакции системы управления на изменения требуемых расходов или параметров горных выработок;
- повышение скорости сходимости воздухораспределения к искомому решению и сокращение амплитуды колебаний параметров оборудования;
- повышение устойчивости работы системы при значительном перераспределении нагрузки между элементами управления;
- возможность автокоррекции системы в случае значительных изменений условий функционирования.

2. На основании теоретического анализа динамики ледопородного ограждения в фазе пассивного замораживания в нормальном и аварийном режимах работы системы замораживания применительно к горно-геологическим условиям строящихся стволов калийных рудников республики Беларусь получены следующие результаты:

- При переходе в фазу пассивного замораживания горных пород динамика толщины ЛПО сильно зависит от того, каким способом определяются границы ЛПО: по изотерме фактического замерзания поровой воды или по изотерме, соответствующей лабораторным измерениям прочности замораживаемых горных пород (принята равной  $-8^{\circ}\text{C}$ ). Если толщина ЛПО, рассчитанная по изотерме фактического замерзания воды, сохраняет свою положительную динамику, то толщина ЛПО, рассчитанная по изотерме  $-8^{\circ}\text{C}$ , может значительно уменьшаться (рисунок 6).



**Рисунок 6 – Временная зависимость толщины ледопородного ограждения, рассчитанная по двум изотермам:  $\approx -0,5^{\circ}\text{C}$  (красные кривые) и  $-8^{\circ}\text{C}$  (синие кривые) для нормального и аварийного режимов работы системы замораживания: (А) — Мел, 50 суток активного замораживания, (Б) — Мел, 100 суток активного замораживания, (В) — Глина, 50 суток активного замораживания, (Г) — Глина, 100 суток активного замораживания**

- Существенное уменьшение толщины ЛПО в фазе пассивного замораживания происходит при аварийном режиме работы системы, связанном с выходом из строя одной из замораживающих колонок. В этом случае для рассматриваемых горно-геологических условий толщина ЛПО по изотерме  $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$  может уменьшаться до величин более 1,5 м. При этом толщина ЛПО по изотерме фактического замерзания воды практически всегда сохраняет положительную динамику.

- При анализе толщины ЛПО по изотерме фактического замерзания поровой воды не представляется возможным оценить опасность аварийных ситуаций, связанных с выходом из строя замораживающих колонок, т. к. эта толщина ЛПО сохраняет положительную динамику.

3. Рассмотрена математическая модель камерной системы разработки с барьерными целиками в условиях большой глубины отработки. Описаны несколько подходов к определению нагрузок на целики. Математическое моделирование, основанное на методе фиктивных целиков, сводилось к анализу напряжённого состояния кровли целиков. Здесь барьерные целики отражались путем задания по их сечению реакции отпора в виде вертикальной распределенной нагрузки. Данный подход приводит к разгрузке междукамерных целиков, составляющей не более 63% для центрального междукамерного целика. Расчеты, базирующиеся на гипотезе образования свода в зонах неполной подработки также отмечают разгружающее воздействие барьерных целиков на междукамерные целики. При этом для исследуемых участков эффект разгрузки центрального междукамерного целика достигает 73 %. Согласно данной методике, междукамерные целики воспринимают нагрузку от веса пород, находящихся в подсводовой части, оставшаяся часть перераспределяется на барьерные целики. Дополнительно представлено исследование изменения степени нагружения целиков в процессе отработки. Результаты, полученные при рассмотрении данных подходов, отмечают сохранение устойчивости несущих элементов системы разработки.

### **136. Катастрофические эндогенные и экзогенные процессы, включая экстремальные изменения космической погоды: проблемы прогноза и снижения уровня негативных последствий**

#### ***Сейсмическое обеспечение безопасности разномасштабного техногенного воздействия на породный массив***

Руководитель темы: д.т.н., проф. Санфиоров И.А.

Деятельность горного предприятия на разных стадиях его развития связана с разномасштабным воздействием на породный массив. Минимизация и прогноз негативных последствий подобного воздействия базируются на адекватном оценивании его реакции. В начальной стадии воздействие локализовано и связано с формированием необходимой для дальнейшей деятельности инфраструктуры: стволы, подготовительные выработки. На последующих этапах, при значительных объемах выработанного пространства, возникают вопросы оценки устойчивости, как самого породного массива, вмещающего горные выработки, так и действующих на его поверхности промышленных объектов горнотехнического профиля. На предыдущих этапах исследований сформулированы основные положения адаптивной, регулируемой и корректируемой в процессе получения результатов системы комплексных методов активной сейсмической локации. Отдельные элементы данной системы могут реализовываться и самостоятельно в зависимости от решаемых задач. Так направление скважинных сейсмических исследований повышенной детальности успешно выполняется на начальной стадии развития горного предприятия с целью контроля проходки вертикальных стволов, разномасштабные пространственные и профильные системы наблюдений наземной сейсморазведки в комплексе со скважинными и без обеспечивают разноуровневый контроль возможных осложнений в пределах действующего калийного предприятия.

Вполне очевидным является тот факт, что микросейсмическая активность, регистрируемая в окрестностях горных выработок, либо большей частью, либо полностью обусловлена техногенным воздействием на недра. В этой связи крайне важно иметь четкие представления о влиянии горнотехнических параметров (как собственно параметров отработки месторождения, так и физико-механических свойств пород) на сейсмический режим. Особенно важна оценка

максимально возможной энергии сейсмических событий, так как эта величина непосредственно влияет на безопасность ведения горных работ. Решение данной задачи возможно за счет наличия уникального объема данных сейсмологического мониторинга, ведущегося на территории Верхнекамского месторождения с 1995 г., а также данных о параметрах горных выработок и свойствах пород для всех действующих на этом месторождении рудников.

Сейсмологические наблюдения, проводимые в пределах аварийных участков, являются отдельной и крайне важной задачей, но при этом регистрируемая микросейсмическая активность обладает рядом специфических особенностей. Изучение внутренней структуры наблюдаемой сейсмоактивности является потенциальным источником новых данных, позволяющих лучше понять природу процессов, протекающих в зоне формирования техногенной карстовой полости, спрогнозировать динамику ее развития и принять меры по минимизации возможного ущерба. Для всех аварийных участков на территории Верхнекамского месторождения имеются представительные сейсмические каталоги, насчитывающие от сотен до десятков тысяч событий, что является надежной основой для решения данной задачи.

1. Разработан способ контроля толщины ледопородного ограждения при строительстве шахтных стволов, основанный на определении скорости и времени вступления сейсмоакустических сигналов, отраженных от ледопородного ограждения. С этой целью в контрольной скважине (КТ), пробуренной на некотором удалении с внешней стороны от кольца замораживающих колонок (ЗС), размещают систему, состоящую из электроискрового источника сейсмических колебаний (И), сейсмостанции (С) и гирлянды пьезоэлектрических сейсмоприемников (П) (рисунок 7), смещают систему вдоль ствола скважины на расстояние кратное шагу сейсмоприемников (ПП), возбуждают и регистрируют сейсмоакустические сигналы, зарегистрированные данные подвергают цифровой обработке по технологии общей глубинной точки (ОГТ). По результирующим волновым полям определяют времена вступления и скорости распространения продольных волн, отраженных от вертикальных границ (ВГ, НГ), образовавшихся при замораживании породного массива, на основании чего судят о толщине ледопородного ограждения (ЛПО), вдоль проектной глубины ствола в проекции КТ-КС (рисунок 8). Способ апробирован на Старобинском месторождении калийных солей.

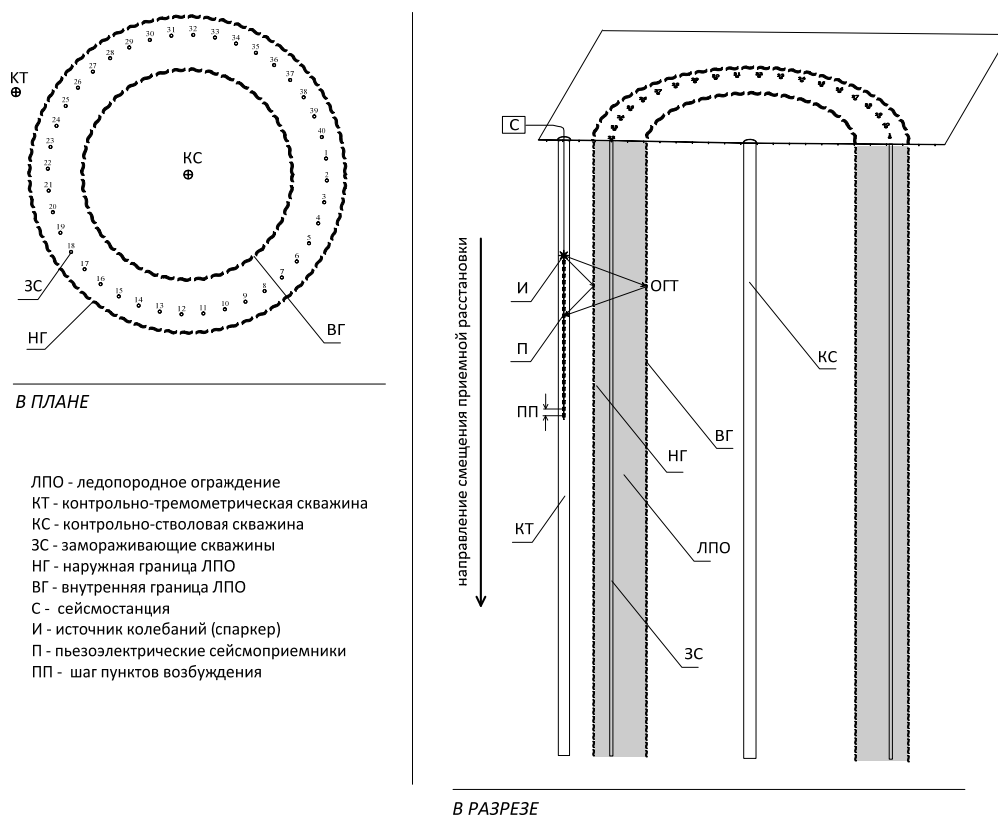
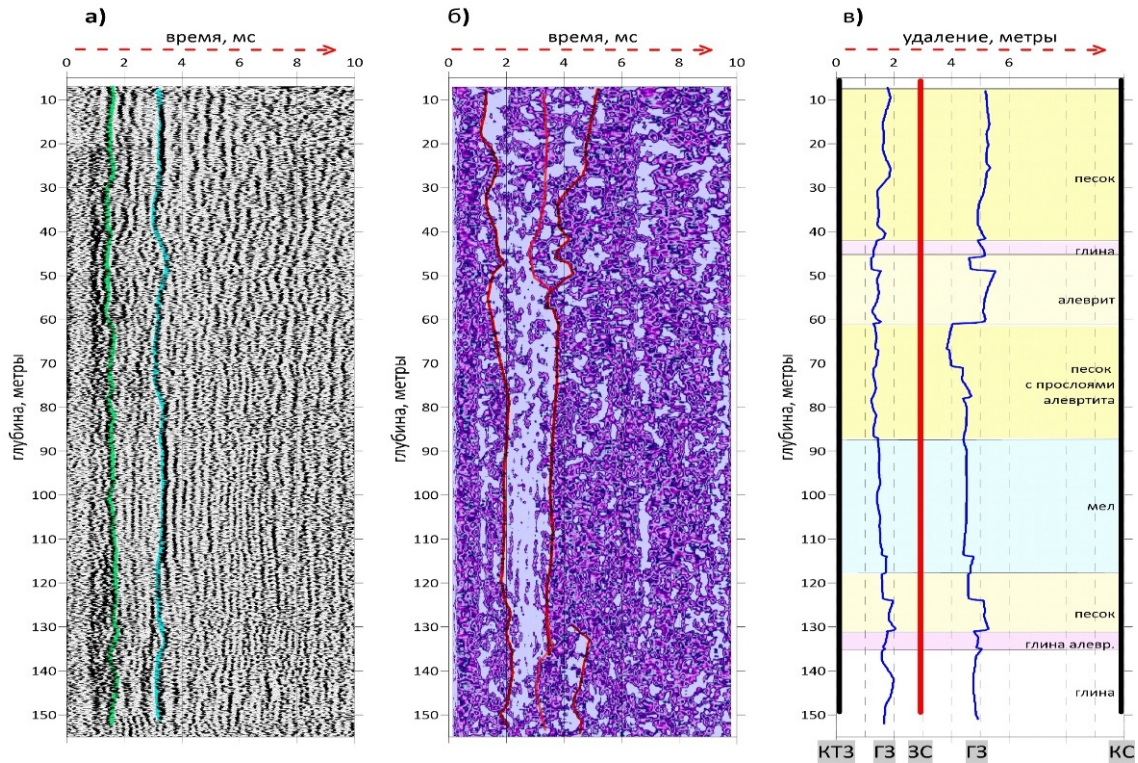
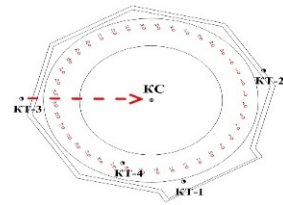


Рисунок 7 – Схема наблюдений скважинной методики определения толщины ЛПО

КТ - контрольно-термометрическая скважина,  
 ГЗ - границы заморозки (границы ЛПО),  
 ЗС - замораживающие скважины (колонны),  
 КС - контрольно-стволовая скважина (ликвидирована)



**Рисунок 8 – Результат интерпретации по способу скважинного ОГТ: а) временной разрез ОГТ вдоль ствола скважины, б) интегральная динамическая характеристика, в) сейсмогеологический разрез между скважинами КТ-3 и КС**

2. Установлено, что на калийных рудниках внутренняя структура регистрируемого сейсмического процесса в целом подобна тектонической сейсмичности: распределение количества событий по энергии подчиняется закону Гутенберга-Рихтера, однако при этом угол наклона графика повторяемости может оказаться существенно отличным от аналогичного угла, рассчитанного для случая тектонических землетрясений. Кроме того, во многих случаях график повторяемости имеет бимодальный характер и состоит из двух частей, имеющих разный угол наклона. Особенно четко бимодальность проявляется при образовании провалов на земной поверхности при аварийном затоплении калийных рудников. Это говорит о наличии двух разных процессов, сопровождающихся генерацией сейсмических событий.

**137. Эволюция окружающей среды и климата под воздействием природных и антропогенных факторов, научные основы рационального природопользования и устойчивого развития; территориальная организация хозяйства и общества**

**Обоснование мероприятий по контролю и управлению гидросферой в районах интенсивного недропользования**

Руководители темы: к.г.-м.н. Бачурин Б.А., д.г.н. Лепихин А.П.

**Объект исследований:** стоки ликвидированных шахт Кизеловского угольного бассейна, водные объекты в зоне деятельности калийных предприятий Соликамско-Березниковского промрайона, мышьяксодержащие отходы медноперерабатывающих предприятий.

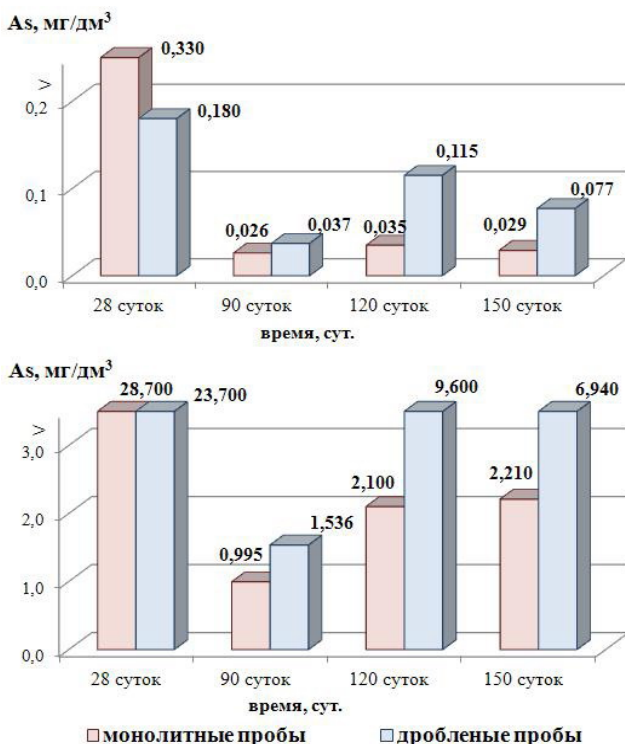


**Цель работы:** разработка общей концепции минимизации вредного экологического влияния горнодобывающих предприятий на гидросферу, оценка возможности использования вредных отходов в качестве компонента закладочной смеси на подземном руднике.

**Методология проведения работ:** обобщение данных ведомственного мониторинга, лабораторное моделирование поведения систем «отходы – вода», гидрохимическое моделирование, математическое моделирование техногенного загрязнения поверхностных водотоков.

**Результаты работы:**

1. Проведена оценка эффективности использования щелочных отходов содового производства для нейтрализации кислых шахтных вод Кизеловского угольного бассейна. На основе гидрохимического моделирования уточнены особенности преобразования гидрохимического облика шахтных вод при взаимодействии с щелочным реагентом в условиях открытой и закрытой систем, что позволило оценить необходимое количество реагента для нейтрализации кислых шахтных вод.



**Рисунок 9 – Характер выщелачивания мышьяка из стандартных закладочных смесей (А) и с добавлением As-содержащих**

в поверхностных водных объектах в зонах активного техногенеза. Проведена оценка масштабов латентного загрязнения поверхностных водных объектов в зонах активного техногенеза.

2. Оработаны технологии расчета процессов разбавления сточных вод на основе сопряжения гидродинамических моделей в 2D и 3D негидростатической постановке. Для объектов калийной промышленности Верхнекамского месторождения калийных солей предложена методология оценки распределения зон загрязнения в поверхностных водотоках, формируемых отведением избыточных рассолов со значительной отрицательной плавучестью.

3. Исследована геохимическая стабильность закладочного материала с добавлением мышьяксодержащих кеков при длительном взаимодействии с водной средой. Рекомендовано введение в их состав различных добавок, переводящих мышьяк в относительно стабильные соединения или обеспечивающих гидроизоляцию мышьяксодержащих частиц, что позволяет снизить масштабы выщелачивания мышьяка из закладочных смесей (рисунок 9).

4. Выполнено совершенствование методов математического моделирования воздействия крупных горнодобывающих комплексов на водные объекты. Исследованы статистические функции распределения химических показателей качества воды

**138. Научные основы разработки методов, технологий и средств исследования поверхности и недр Земли, атмосферы, включая ионосферу и магнитосферу Земли, гидросферы и криосферы; численное моделирование и геоинформатика (инфраструктура пространственных данных и ГИСтехнологии)**

*Разработка методов мониторинговых геофизических наблюдений для изучения динамических явлений в недрах земли естественного и техногенного происхождения*

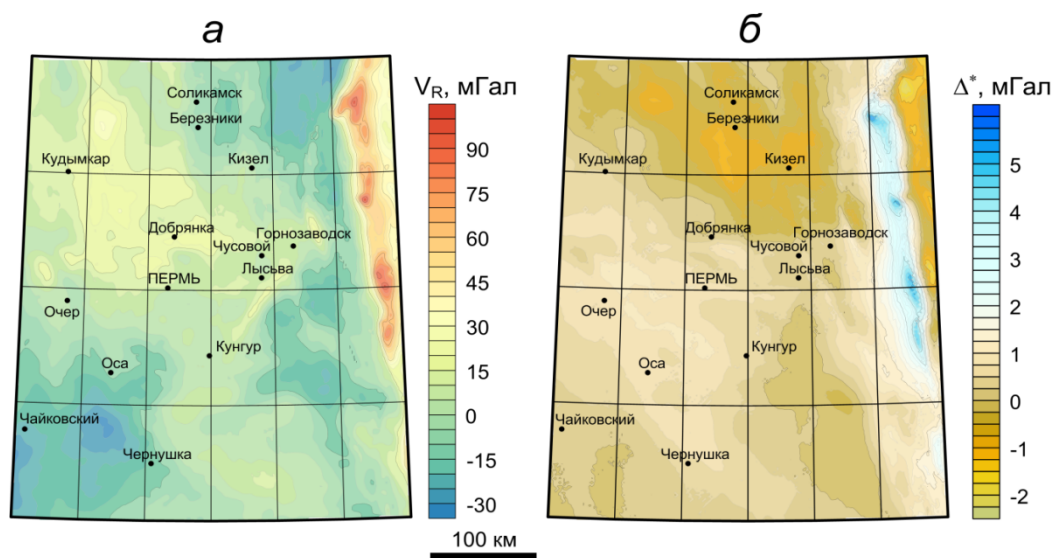
Руководитель темы: д.г.-м.н. Бычков С.Г.

**Цель работы:** разработка методов моделирования геологических объектов и их временных трансформаций на основе комплексных геофизических исследований, создание алгоритмов обработки и интерпретации геофизических наблюдений, адаптация разработанных методов для различных геологических условий.

**Методология проведения работ:** создание оптимальной методики полевых наземных, наземно-подземных и мониторинговых (повторных) измерений аномалий силы тяжести и геоэлектрических полей, разработка математического аппарата обработки и интерпретации геофизических, в том числе динамических аномалий.

**Результаты работы:**

1. Разработан метод оценки различий аномалий силы тяжести, обусловленных использованием "плоской" и "сферической" моделей Земли. Оценкой снизу  $\Delta^*$  влияния сферичности Земли для любой территории является различие радиальной  $V_r$  и вертикальной  $V_z$  компонент поля для одной и той же модели источников. Эта оценка может быть получена в 3D варианте на основе формальной истокообразной аппроксимации дискретных значений гравитационного поля в редукции Буге. На рисунке 10 приведен пример такой оценки по материалам гравиметрической съемки масштаба 1:200 000 в пределах листа О-40 (Пермский край). Гравитационное поле  $\Delta g$  этой территории изменяется от -30 до 100 мГал, а величина  $\Delta^*$  – от -2 до +6 мГал, что свидетельствует о необходимости учета сферичности Земли при интерпретации гравиметрических данных.



**Рисунок 10 – Практический пример оценки влияния сферичности Земли (лист О-40): а – карта гравитационного поля  $\Delta g$  в редукции Буге; б – карта изолиний параметра  $\Delta^*$ .**

2. Интерпретации результатов мониторинговых гравиметрических съемок, проведенных на территориях разработки месторождений калийных солей, позволяет разделять области природного и техногенного разуплотнения подработанной толщи. Области техногенного разуплотнения в подработанной толще формируются в результате деформирования породного массива над горными выработками. Разработка критериев разделения аномалий решается на основе выявления связи наблюдаемых в пространстве массива плотностных неоднородностей как с элементами горного производства, так и с геологическим строением территории. Выявление техногенных разуплотненных зон в подработанном массиве позволит конкретизировать форму и место проявления техногенных деформаций в пространстве подработанной толщи, выявить опасные зоны.

3. Совместная интерпретация локальных аномалий силы тяжести и динамических аномалий с использованием имеющейся геологической информации, с данными об оседаниях земной поверхности и с учетом геометрии горных выработок позволяет построить достоверные трехмерные модели водозащитной толщи, включающей в себя изменение плотности во времени, тем самым определить генезис зон разуплотнения и классифицировать аномалии по степени их опасности для ведения горных работ и жизнедеятельности на подработанных территориях.

4. Новые подходы к интерпретации данных электротомии позволяют существенно увеличить объем полезной информации, более четко проследить неявно выраженные в наблюдаемых полях особенности геологического строения и повышают достоверность прогноза катаст-

рофических явлений. Выработана методика применения процедур вейвлет-преобразования и классификации для эффективного решения задач картирования пространственных границ участков инженерно-геологических осложнений в пределах площадей комплексных геолого-геофизических мониторинговых наблюдений потенциально-опасных по карсто- и техногенным проявлениям. Объективность количественных оценок дает принципиально иные результаты интерпретации наблюдаемых объектов и процессов и помогает повысить достоверность выводов о геологической природе возникновения изучаемых явлений и процессов.

## 2.9. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ КНЦ РАН

### Геотехнология

Разработана новая версия горно-геологической информационной системы MINEFRAME 8.0, развивающая методы комплексного решения задач горного производства на основе моделирования объектов и процессов горной технологии и обеспечивающая формирование единого цифрового пространства горнодобывающего предприятия. Усовершенствованы существующие и разработаны новые инструменты системы, реализующие работу с большими объемами данных. Разработанные инструменты проектирования и планирования горных работ нацелены на решение задачи цифровой трансформации горнодобывающей отрасли (рисунок 1).

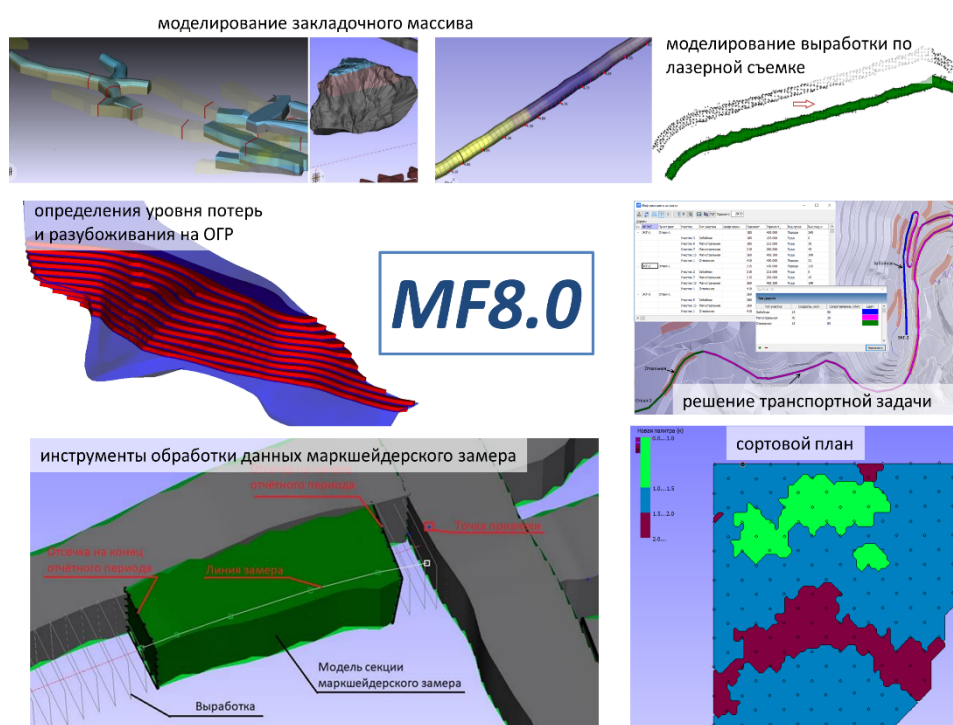


Рисунок 1

Предложен методический подход и разработана модульная структура геоинформационной системы для инвестиционной оценки горнорудных проектов на основе 3D-моделирования горно-геологических и горно-технологических условий разработки месторождений при комплексном учете природных, инфраструктурных, технологических и экономических факторов. Особенностью данного подхода является тесная увязка моделей объектов горной технологии и инфраструктуры с процедурами автоматизированных экономических расчётов, базирующихся на базах данных типовых технологических решений.

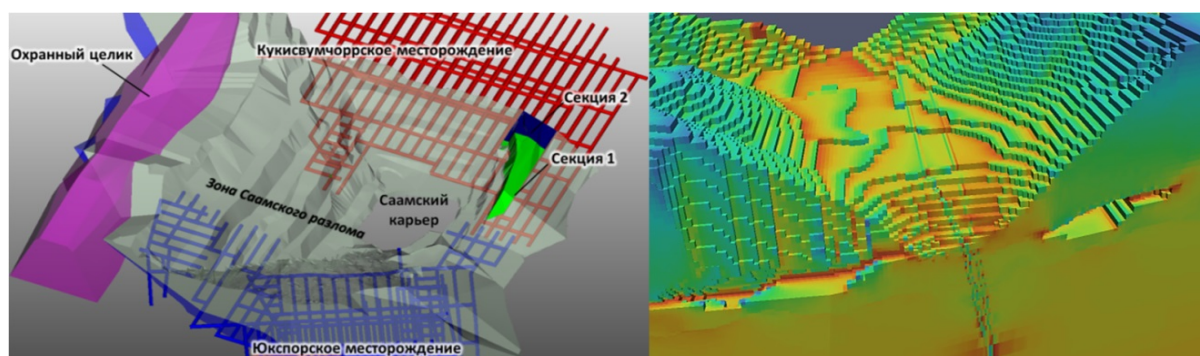
Разработан алгоритм определения производительности выемочных единиц при различных сценариях развития подземных горных работ в высоконапряжённом массиве, включаю-

щий комбинацию методов моделирования технологических схем и их геомеханическую оценку по размерам областей критических напряжений и деформаций. Алгоритм учитывает комплекс геологических, горнотехнических и геомеханических факторов и апробирован для условий мощных рудных месторождений Хибинского массива.

На основе технико-экономической оценки обоснован инженерно-технический подход к технологии крепления крутонаклонных структурно нарушенных бортов карьеров, по результатам которого подтверждена техническая возможность и экономическая эффективность внедрения инженерной защиты в целях стабилизации крупномасштабных деформаций породного массива для обеспечения безопасности открытых горных работ с сохранением проектных границ карьера.

### Геомеханика

Обоснована концепция безопасной и эффективной технологии отработки сближенных месторождений Хибин в условиях трансформации гравитационно-тектонического поля напряжений в зонах взаимного влияния геодинамически активных разломных структур, открытых и подземных выемок. В основе концепции – цифровое моделирование геомеханических и технологических процессов на различных стадиях развития горных работ. Концепция апробирована при разработке комплекса геомеханических и технологических решений по отработке запасов горизонта +170м Кировского рудника в условиях стыковки двух подземных очистных выемок Юкспорского и Кукисвумчоррского месторождений с отработанным Саамским карьером и геодинамически активной разломной структурой (рисунок 2).



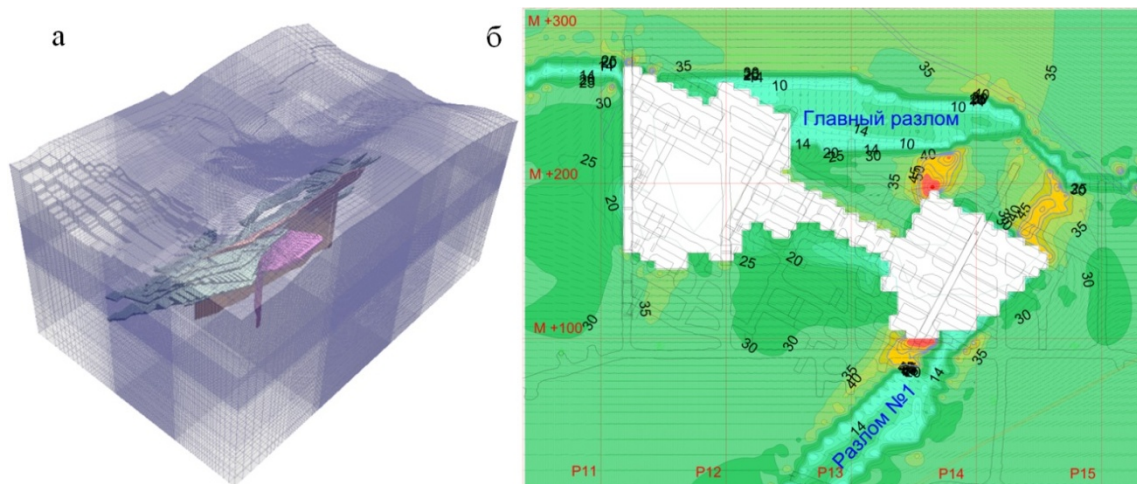
**Рисунок 2 – Технологическая и геомеханическая модели в зоне стыковки подземных горных работ с карьером**

Разработана и внедрена на АО «СЗФК» система прогнозной оценки напряженно-деформированного состояния (НДС), включающая трехмерную конечно-элементную модель массива пород в окрестности зоны ведения фактических и планируемых подземных горных работ удароопасного месторождения Олений ручей и адаптированный для горного инженера программный интерфейс. Учтены разломные структуры, определяющие иерархично-блочное строение массива. Система позволяет выполнять региональный прогноз удароопасности на весь период отработки месторождения, а также оперативно оценивать влияние различных вариантов развития горных работ на НДС массива и состояние выработок (рисунок 3).

На основе анализа объектов горной технологии и промышленной инфраструктуры Ковдорского горно-обогатительного комбината разработана структура комплексной системы мониторинга устойчивости конструктивных элементов карьера и объектов промплощадки, расположенных в зоне влияния горных работ крупного рудного карьера.

На основе комплексного анализа данных микросейсмического мониторинга за период 2008-2018 гг. установлено, что на активизацию сейсмичности в районе Саамского разлома влияют: интенсивность ведения горных работ, их глубина и близость к зоне разлома. Выявлен наиболее сейсмически активный участок массива, расположенный со стороны Кукисвумчоррского месторождения в лежачем боку рудной залежи. Показано, что дальнейшее продвижение горных работ вкострости простираения разлома может привести к подвижкам граничащих с ним блоков.





**Рисунок 3 – а – 3D вид разработанной численной модели;  
б – распределение напряжений  $\sigma_{\max}$  на гор. +120 м  
при фактическом состоянии горных работ на октябрь 2019г.**

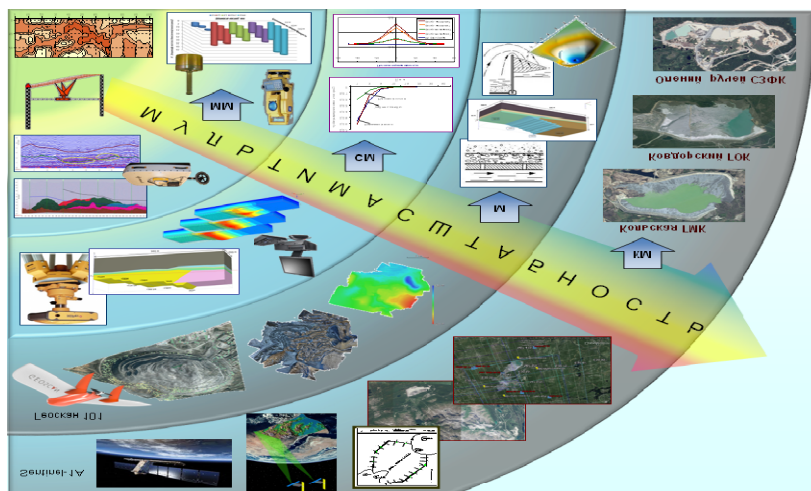
На основе натуральных определений параметров поля напряжений, лабораторных исследований физико-механических свойств пород массива Ждановского месторождения, учета комплекса геологических и технологических факторов разработана геомеханическая 3D модель, позволяющая оценивать изменения НДС при развитии подземных горных работ до глубины 1000м от дневной поверхности. Расчетные параметры НДС массива подтверждают высокую вероятность проявления динамических форм горного давления ниже отметки -400м. Выявлены особенности распределения напряжений в окрестности очистных пространств Центрального рудного тела, заключающиеся в более высоком уровне сжатия в восточной части Центрального рудного тела и вмещающих его пород и дополнительном приросте сжимающих напряжений на участках выемки рудного тела с малой мощностью.

Методами натуральных измерений определены параметры напряжённо-деформированного состояния Олимпиадинского золоторудного месторождения (Красноярский край) на глубинах более 400 м. Установлено действие субгоризонтальных сжимающих напряжений, превышающих напряжения бокового отпора от собственного веса вмещающих пород. Выявлено, что за пределами влияния карьерной выемки массив пород находится под действием субравнокомпонентного сжатия в горизонтальной плоскости. Полученные результаты необходимы для формирования геомеханической модели Олимпиадинского месторождения.

По результатам определения критической удельной энергии деформирования пород и участков месторождений Хибинского массива экспериментальными и численными методами установлено, что с увеличением масштабов критическая энергия, при которой происходит разрушение массива пород в динамической форме, уменьшается. При переходе от образца горной породы к массиву, вмещающему одиночную горную выработку, критическая удельная энергия уменьшается примерно в 4 раза; при переходе к участку массива пород в пределах отработываемого блока величина критической энергии уменьшается до 40 раз по сравнению с образцом.

Созданы методологические основы комплексирования междисциплинарных методов для целей мониторинга гидротехнических сооружений, позволяющие реализовать принцип мультимасштабности: от структурных зерен скелета грунтов (миллиметры) до объекта в целом (десятки километров). В частности, комплексированием данных спутниковых снимков, георадарных, гидрогеологических, геофизических и инженерно-геологических исследований раскрыт механизм инфильтрации поверхностных вод из отстойника в карьер Ковдорского ГОКа, что позволило обосновать инженерно-технические противофильтрационные мероприятия. Мониторинг гидротехнических сооружений на основе комплексирования междисциплинарных методов реализован на 4-х горнопромышленных предприятиях Кольского полуострова (рисунок 4).





**Рисунок 4 – Принцип мультимасштабности при комплексировании междисциплинарных методов и средств мониторинга гидротехнических сооружений**

На основе 4D-моделирования (с учетом фактора времени) установлены закономерности развития фильтрационно-деформационных процессов в гидротехнической системе хвостохранилища, что формирует теоретическую основу оценки механической устойчивости ограждающих дамб хвостохранилищ, как сложной водонасыщенной природно-технической системы. Установлено, что основное уплотнение грунтов происходит в первые 1-5 дней, в течение которых скорость уплотнения структурных частиц снижается от 3-6 до 1см/сут. с последующим затуханием, и соответствующим снижением фильтрационных процессов. Выявлено, что полное затухание фильтрационно-деформационных процессов происходит на 80-85 день, что предопределяет основу для практических рекомендаций по срокам следующего этапа наращивания дамб.

### **Разрушение горных пород**

На основе численного моделирования и данных натурных измерений разработана методика оценки сейсмозрывного воздействия на законтурный массив при производстве взрывных работ в карьере, позволяющая путем расчета ширины зон трещинообразования от взрыва скважинных зарядов и наведённой трещиноватости в тыльную часть массива делать оценку устойчивости вышележащих уступов при воздействии на них массовых взрывов, а на стадии проектирования подбирать параметры взрывания, обеспечивающие минимизацию сейсмического воздействия на законтурный массив.

### **Рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика**

Методами численного моделирования с использованием трехмерных CFD-моделей выявлено влияние градиента температуры на аэродинамические параметры воздушных потоков в глубоких карьерах. Установлено, что в условиях инверсионного состояния атмосферы происходит перестройка структуры потоков воздуха в карьере с изменением угла раскрытия струи и зон формирования обратных потоков внутри карьера, вплоть до их исчезновения при малых значениях скорости ветра на борту карьера (менее 2 м/с), что приводит к образованию застойных зон и более быстрому накоплению примесей в карьерном пространстве. При скоростях ветра на борту карьера более 2 м/с энергия ветрового потока начинает превалировать над энергией термических сил, что приводит к формированию обратных потоков в карьере.

С использованием методов математического моделирования изучены особенности формирования радиационных и тепловых параметров хранения отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) атомных станций малой мощности (АСММ) в контейнерах типа ТУК-120. Определены спектральный состав ионизирующего излучения и дозовые характеристики поля гамма-излучения контейнеров с ОЯТ водо-водяных и жидкометаллических реакторов. Установлены закономерности распределения источников тепла (контейнеров ТУК-120) в модулях хранения ОЯТ, накопленного за время эксплуатации АСММ, с учетом времени выдержки топлива и динамики поступления контейнеров в хранилище.

## Обогащение полезных ископаемых

Разработан концептуальный подход для оптимизации гравитационной технологии доизвлечения гематитового концентрата из природного и техногенного сырья, основанный на использовании закономерностей сегрегационного принципа распределения минеральных частиц, полученных методами численного моделирования процесса их разделения в потоках малой толщины.

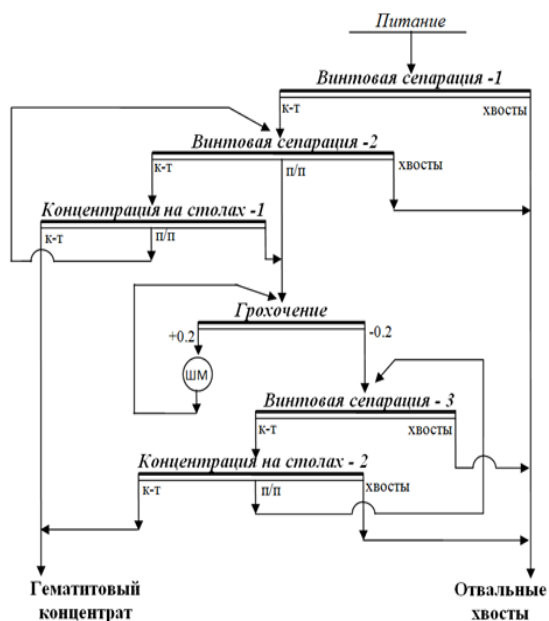


Рисунок 5 – Рекомендуемая схема получения гематитового концентрата

Апробация технологии на рудах и техногенных отходах АО «Олкон» показала возможность повышения полноты извлечения гематита до 75% и дополнительного выпуска концентрата с содержанием 62%  $Fe_{общ}$ , что значительно расширяет минерально-сырьевую базу предприятия (рисунок 5).

Разработан прототип имитационной модели сокращения крупности минеральных частиц, позволяющей прогнозировать величины выходов их классов крупности в процессах дробления и измельчения. В основу модели положено использование отраженного нормального распределения Гаусса-Лапласа, реализуемое на базе законов кинетики дробления и измельчения минералов.

Обоснована геометрия профиля канала лотка вибропитателя транспортной системы радиометрического сепаратора с использованием аналитического и численного 3-D моделирования, обеспечивающая формирование траектории движения кусков рудной массы близкой к прямой, за счет чего достигается снижение времени прохождения по нему кускового материала рудной массы и повышается не менее, чем на 10% производительность сепаратора при других неизменных условиях его работы.

Установлены кинетические закономерности измельчения и флотационного извлечения фторапатита из рядовых и гипергенно измененных апатит-нефелиновых руд Хибинского массива, которые позволили оптимизировать процесс флотационного разделения руд с учетом их минералого-технологических свойств. При обогащении гипергенно измененных руд, характеризующихся наличием большого количества тонкодисперсных вторичных минералов, целесообразно поддерживать выход класса +0,16 мм в питании флотации на 20% выше относительно рядовых.

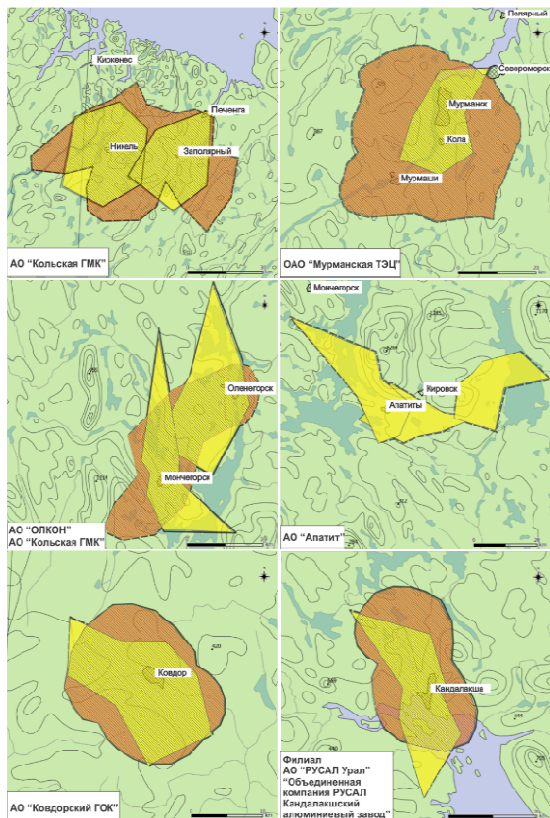


Рисунок 6 – Границы аэрозольного техногенного воздействия крупных предприятий Мурманской области и угнетения растительного покрова

Обозначения:

- аэрозольное техногенное воздействие,
- снижение вегетационного индекса.

## Горная экология

Разработан методологический подход к оценке воздействия предприятий горной отрасли на состояние природной среды по фотосинтезирующей активности растительного покрова на основании спутниковых данных двадцатилетних наблюдений территории Мурманской области. Установлена пространственная корреляция аэротехногенного загрязнения с изменениями вегетационного индекса, на основании которой выполнена оценка воздействия предприятий на природную среду. Обосновано использование фактора фотосинтезирующей активности растительного покрова, в качестве интегрального показателя техногенного воздействия на природную среду (рисунок 6).

### **2.10. ОБОСОБЛЕННЫЕ ПОДРАЗДЕЛЕНИЯ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ФЕДЕРАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЦЕНТРА «КОЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК» ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКОЛОГИИ СЕВЕРА, ИНСТИТУТ ЭЛЕМЕНТОВ И МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ ИМ. И.В. ТАНАНАЕВА, ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ**

#### **IX. НАУКИ О ЗЕМЛЕ**

**132. Комплексное освоение и сохранение недр Земли, инновационные процессы разработки месторождений полезных ископаемых и глубокой переработки минерального сырья**

**Керамические материалы с использованием металлургических шлаков и хвостов обогащения предприятий Мурманской области**

*Обоснована возможность получения керамических строительных материалов компрессионного формования на основе отвалных шлаков медно-никелевого производства, хвостов обогащения апатит-нефелиновых руд и железистых кварцитов предприятий Мурманской области. Изучено влияние давления прессования (20, 50, и 100 МПа) на свойства керамических материалов (прочность при сжатии и изгибе, огневая усадка, водопоглощение). Показано, что увеличение давления прессования приводит к повышению физико-механических характеристик керамических материалов, снижению огневой усадки и водопоглощения. Применение давления прессования 100 МПа и температуры обжига 1050 °С позволяет получить стеновой клинкерный кирпич, при температуре обжига 1100 °С и давлении прессования 20-100 МПа – дорожный клинкерный кирпич. Получены образцы с морозостойкостью более 200 циклов. (ИППЭС КНЦ РАН, ИХТРЭМС КНЦ РАН, ГИ КНЦ РАН)*

Показано, что отвалы гранулированные шлаки медно-никелевого производства, в составе композиции с хвостами обогащения апатит-нефелиновых и железистых кварцитов могут использоваться для производства керамических строительных материалов компрессионного формования. Следующие пропорции композиции шихты: шлаки медно-никелевого производства – 40%, хвосты обогащения апатит-нефелиновых руд – 40%, железных руд – 20% обеспечивают сбалансированный химический состав полученной керамики, а также оптимальный фазовый состав.

Методами рентгенофазового анализа и оптической микроскопии показан рост содержания оксидной фазы (гематит) и образование К-Na полевого шпата по мере роста температуры обжига с формированием оксидно-полевошпатовой керамики (рисунок). Подтвердилось предположение, что образование гематита происходит за счет силикатных фаз, в данном случае, преимущественно за счет раскристаллизации стекловидной матрицы частиц шлака.

Выявлены следующие закономерности влияния температуры обжига и давления прессования на свойства керамических материалов:

1). С ростом температуры обжига увеличиваются прочность образцов при сжатии и изгибе, объемная плотность и огневая усадка, снижается водопоглощение.

2). С увеличением давления прессования растет прочность образцов при сжатии и изгибе. **По прочностным показателям образцы, обожженные при 1050 и 1100 °С, соответствуют клинкерной керамике.**

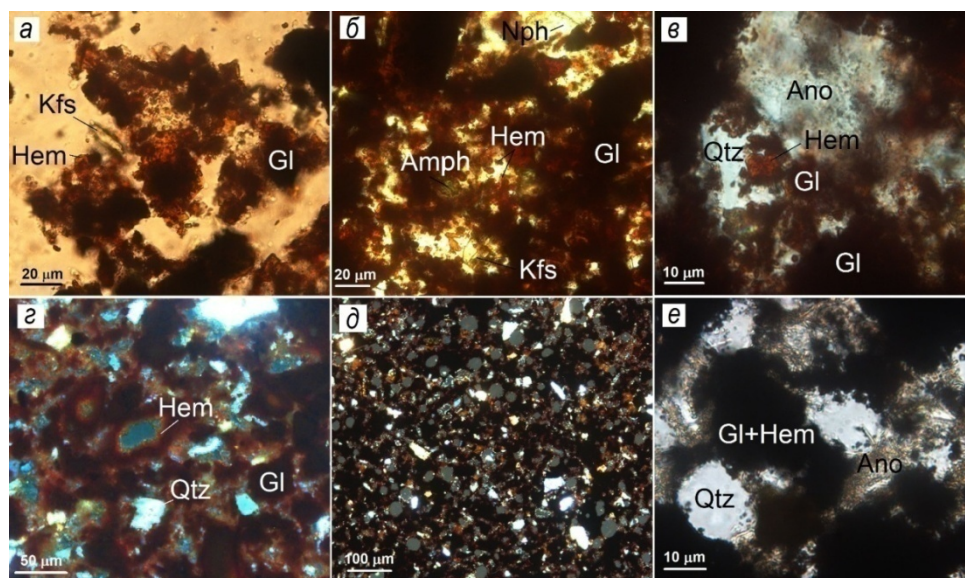
3). С увеличением давления прессования незначительно растет объемная плотность образцов, обожженных при 900, 950 и 1000 °С. Существенный рост объемной плотности зафиксирован для образцов, обожженных при **1050 и 1100 °С.**

4). Водопоглощение образцов закономерно снижается с ростом температуры обжига и с увеличением давления прессования. Материалы, полученные при давлении прессования 100 МПа и обожженные при температуре 1050 °С, а также при 20-100 МПа и температуре обжига 1100 °С по водопоглощению соответствует клинкерной керамике.

5). Использование дополнительных технологических приемов (гидрофобизация, формирование матричной структуры) при синтезе керамических материалов показало возможность получения изделий полусухого прессования повышенной морозостойкости. Увеличение температуры обжига образцов способствует значительному росту морозостойкости. Наибольшей морозостойкостью отличаются образцы компрессионного формования гранулированных пресс-порошков, обожженные при 1000-1100 °С, – Мрз 200.

6). По совокупности измеренных свойств установлено, что применение давления прессования 100 МПа и температуры обжига 1050 °С позволяет получить стеновой клинкерный кирпич, при температуре обжига 1100 °С и давлении прессования 20-100 МПа – дорожный клинкерный кирпич.

Замена хвостов обогащения медно-никелевых руд на шлак при тех же соотношениях остальных компонентов улучшает показатели прочности при сжатии образцов, обожженных при **1050 и 1100 °С**, и при изгибе образцов, обожженных при 1100 °С. Этот эффект, с одной стороны, может быть связан с образованием и увеличением содержания гематита, кристаллы которого оказывают армирующее действие. С другой стороны, более интенсивно происходит синтез полевых шпатов, которые способствуют образованию легкоплавких эвтектик и появлению расплава при повышении температуры обжига.



**Рисунок. Кристаллизация пластинок гематита в препарате в результате обжига при температурах 900<sup>0</sup>С (а) и 950<sup>0</sup>С (б); замещение кварца и нефелина анортотклазом в препарате после обжига при температуре 1000<sup>0</sup>С (в); появление полостей (белая стрелка), окруженных пластинками гематита в результате обжига при температуре 1050<sup>0</sup>С (г); общий вид препарата после обжига при температуре 1100<sup>0</sup>С (д). Серое – полости. Развитие анортотклаза при обжиге при температуре 1100<sup>0</sup>С (е)**



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

В 2019 году Всероссийский институт научной и технической информации (ВИНИТИ РАН) исследовал мировой поток научно-технической литературы в области горного дела. По результатам исследований ВИНИТИ РАН ежемесячно выпускает сводный том Реферативного журнала «Горное дело» и соответствующему ему базу данных (БД). В сводный том входят следующие выпуски:

- разработка месторождений твердых полезных ископаемых;
- разработка нефтяных и газовых месторождений;
- обогащение полезных ископаемых.

В этих выпусках в реферативной форме отражается все то новое, что появляется в технике и технологиях горного производства во всем мире, а также современные достижения научной мысли в этой области.

Отдельные выпуски Сводного тома можно получать и в виде Электронного реферативного журнала (Эл.РЖ).

Кратко резюмируя опубликованные в 2019 году материалы, можно отметить следующее.

Открытые крупные месторождения природного газа на Ямале и пуск завода ЯМАЛ-СПГ по производству сжиженного природного газа (СПГ) открывает новые возможности для освоения Арктического шельфа России. Для транспортировки СПГ нужны газовозы, строительство которых будет осуществляться на верфи «Звезда» на Дальнем Востоке, для проводки газозовов в ледовый период потребуются мощные атомные ледоходы, а на всем протяжении Северного морского пути (СМП) будет развиваться инфраструктура по бункерованию и обеспечиванию круглогодичного функционирования СМП, который будет служить наиболее оптимальным маршрутом доставки СПГ в страны Азиатско-Тихоокеанского региона (АТР)

С учетом международных конвенций, по которым Балтийское и Северное моря объявлены зоной снижения выбросов серы, следует ожидать в этом регионе роста использования СПГ в качестве корабельного топлива. В настоящий момент данный рынок находится на стадии формирования: флот, использующий СПГ в качестве моторного топлива, имеется только в Норвегии, однако все страны Балтийского и Северного морей вкладывают значительные инвестиции в строительство новых судов, которые будут использовать газ в качестве основного топлива, а также осуществляют создание соответствующей бункеровочной инфраструктуры.

Другим вариантом использования СПГ в регионе Балтийского моря является создание сети станций для заправки грузовой автотехники и автотранспортных средств, курсирующих по транспортным маршрутам Санкт-Петербург – Хельсинки и Санкт-Петербург – Таллин.

На севере России основным якорным центром является Мурманская область. Основные направления использования – бункеровка судов, замещение мазута в ЖКХ и промышленности. В перспективе – перевод крупнотоннажной карьерной техники на СПГ.

Еще одним якорным центром является Урал, где построена СПГ- инфраструктура в Свердловской области. В существующих и планируемых проектах СПГ здесь используется как в качестве базового, так и резервного и аварийного топлива для котельных. В рамках совместной работы ПАО Газпром и РЖД идет опытная эксплуатация разных типов газотурбовозов на СПГ и мобильных заправочных комплексов.

Север Красноярского края с городом Норильск является одним из наиболее перспективных центров использования СПГ. Возможные направления использования – железнодорожный транспорт, бункеровка судов в порту Дудинка, карьерная техника, автономное энергоснабжение.

Для вывоза продукции Ямал-СПГ в общей сложности должны работать 15 танкерогазовозов усиленного ледового класса Arc7 вместимостью 170 тыс. м<sup>3</sup> (около 74 тыс. т). Кроме танкера «Кристоф де Маржери», принявшего в декабре 2017г. в порту Сабетта первую партию Ямальского СПГ в настоящее время на проекте работают еще 4 аналогичных танкера, построенных в Южной Корее.

Эти танкеры-газовозы способны осуществлять круглогодичную транспортировку СПГ без ледокольной проводки в западном направлении и в течение летней навигации – в восточном. Суда могут самостоятельно проходить льды толщиной более 2,1м и работать при темпе-



ратуре  $-50^{\circ}\text{C}$ . Танкер обладает системой двойного действия: носовая часть приспособлена для навигации в открытой воде и в условиях тонкого льда, а кормовая оптимизирована для самостоятельной навигации в сложных ледовых условиях. Использование танкеров ледового класса – дорогое удовольствие, поэтому решено построить на Камчатке перевалочный терминал мощностью до 20 млн т/год. Здесь сжиженный газ Ямала и Гыдана (завод Арктик-СПГ2) будет перегружаться на более дешевые в эксплуатации конвенционные (неспециализированные) суда. По некоторым прогнозам, после запуска всех заводов по сжижению газа Ямал станет центром производства СПГ с объемом 80 млн т/год[4].

Планы НОВАТЭК предполагают также создание на Камчатке регионального паба по торговле сжиженным газом с собственным ценовым индикатором, что должно повысить конкурентоспособность российского СПГ. Преимуществом проекта считается «близость» к потребителям и возможность обеспечения гибкости поставок для ключевого рынка АТР. Сообщалось, что использование камчатского терминала позволит сократить затраты на транспортировку, а также – сроки поставки с 36 до 19 дней. Запустить объект планируется 2022-2023 гг.

Для обеспечения отгрузки продукции Ямал-СПГ предназначен порт Сабетта. Сжиженный природный газ отгружается через двухпричальную технологическую эстакаду СПГ. Перевозки СПГ начались в декабре 2017г. Транспортировка СПГ производилась в Европу прямыми рейсами с перевалкой в различных портах на конвенциональные газовозы. Летом 2018 г. был совершен первый рейс поставки СПГ в Китай без ледокольного сопровождения по восточному направлению СМП [3].

В настоящее время в мире уже имеется многолетний успешный опыт постройки и эксплуатации паромов, в том числе и крупных пассажирских, патрульных судов, судов-снабженцев, использующих в качестве топлива СПГ. Идет проектирование и активное строительство сухогрузов, танкеров, круизных, дноуглубительных судов, буксиров. В 2016 году в Финляндии был построен и начал работу первый в мире ледокол ледового класса Polar Class 4 Icebreaker на СПГ.

Активное создание мощностей для бункеровки судов СПГ наблюдается в таких крупнейших портах мира, как Роттердам и Сингапур. К 2020 году Евросоюз планирует создать систему бункеровки СПГ как в морских портах, так и на внутренних водных путях.

Интерес к переходу на СПГ повысился после того, как ИМО в 2016 году подтвердила ранее принятое решение о введении глобальных ограничений по содержанию серы в судовом топливе уже в 2020 году. Переход на СПГ является одним из наиболее эффективных способов подготовки к ожидаемым дополнительным ограничениям по содержанию в выбросах окислов серы и азота, черного углерода (сажи) и т.д.

В России имеется значительный опыт перевода на природный газ наземного, в первую очередь автомобильного транспорта, разворачиваются работы по его использованию на водном транспорте. Замещение топлива на газ уже дает значительные экологические эффекты с точки зрения снижения выбросов в атмосферу. Российским СПГ, производимом на заводе в Псковской области, заправляется крупный эстонский паром, начавший в 2016 году работать на маршруте Таллин–Хельсинки.

Развитие российской Арктики, связанное, главным образом, с освоением минеральных ресурсов является в среднесрочной перспективе приоритетным направлением для страны. Проекты такого развития вызовут рост грузопотока, который в максимальном сценарии оценен в 100 млн т к 2030г. Транзитные грузопотоки могут добавить к этим объемам от нескольких млн т по пессимистическому прогнозу до десятков миллионов тонн по оптимистическому прогнозу. Все это формирует масштабный, крупнотоннажный грузопоток, для обеспечения которого необходимы новые стандарты и требования к безопасности судоходства. Для эффективной реализации планов экономического развития и транзита потребуется масштабное развитие портовой инфраструктуры, навигационного, спасательного и сервисного обслуживания СМП, а также создание бункеровочной инфраструктуры на всем протяжении СМП.

Все суда для безопасной работы в Арктике должны быть ледового класса и, несмотря на глобальные изменения климата и уменьшение ледового покрова, данное требование сохранится еще долго. Скорее всего, все суда, построенные специально для Арктической зоны, будут работать в Арктике постоянно без ревокации в другие районы.

Наилучшим вариантом является строительство новых судов, которые сразу могут использовать СПГ. В то же время, принимая во внимание большой возраст российских судов, используемых в Арктической зоне, перспективным вариантом является переоборудование судов на использование СПГ.

СПГ может поставляться с реализуемых крупнотоннажных проектов в Арктике — «Ямал СПГ» и «Арктик СПГ», а также с планируемых производств «Печора СПГ». Кроме того, поставка СПГ возможна из Норильска, Якутии и с Чукотки, в этих районах в отдельные периоды времени рассматривались возможности производства СПГ. Возможны поставки СПГ в Арктическую зону и с Балтийских СПГ-проектов в период судоходства по Беломоро-Балтийскому каналу. При следовании по маршрутам в западном направлении СПГ суда будут иметь возможность сопряжения с деятельностью СПГ-терминалов в Европе.

География реализуемых и возможных центров производства СПГ благоприятна для организации морского транспортного коридора вдоль СМП, в котором в качестве бункерного топлива будет использоваться СПГ.

Доступность СПГ и короткое транспортное плечо, надежность поставок СПГ с различных производств обеспечат значительные ценовые конкурентные преимущества СМП по сравнению с другими маршрутами, что позволяет надеяться на существенный рост транзитных грузоперевозок по СМП.

Проекты производства СПГ в Арктике по своему объему являются проектами мирового уровня. А это позволяет рассматривать СПГ не только в качестве бункерного топлива, но и в следующих сегментах для снижения северного завоза нефтяных топлив:

- энергообеспечение ГРП на шельфе и обеспечение платформ;
- плавучие энергостанции;
- береговые и плавучие газовые хранилища для населенных пунктов;
- газо- и энергообеспечение населенных пунктов на СМП и реках акватории Северного Ледовитого океана;
- развитие морских портов с учетом экологической чувствительности окружающей среды к интенсивной хозяйственной деятельности человека.

Проект освоения Павловского месторождения на Новой Земле может также использовать СПГ для энергообеспечения промышленных объектов. Общая потребность в энергии составляет 30–40 МВт. Для получения электроэнергии можно использовать газопоршневые (газотурбинные) двухтопливные установки, работающие на сжиженном природном газе. Годовой объем СПГ для энергетической мощности ГОКа составит примерно 50000–60000 тонн. Использование СПГ в качестве энергоносителя позволяет снизить энергетические ограничения и экологические риски в развитии Арктики.

Арктическая стратегия РФ25 предусматривает мероприятия по обеспечению экологической безопасности и активному использованию местных энергетических ресурсов, что позволяет использовать СПГ в Арктической зоне как для бункеровки, так и для энергоснабжения населения и промышленных потребителей.

СПГ можно использовать в качестве бункерного топлива при:

- операциях в крупных портах: Мурманске, Архангельске, Дудинке;
- операциях в новых портах, например, Сабетте;
- транзитных перевозках по СМП.

Судоходство на СМП позволит развивать перевозки по крупным сибирским рекам и по направлению море-река (Енисей, Обь, Лена). Это может стать основой для газификации потребителей вдоль рек, опорной точкой для начала бункеровки речных судов.

По мере развития рынка СПГ зависимость от импортных технологий будет падать, так как развитие российских технологий во многом сдерживалось отсутствием на них спроса, а не отставанием отечественной промышленности. Рост конкуренции и давление на производителей на мировом рынке приводит к необходимости поиска новых сегментов рынка СПГ, и внутренний рынок России в виде промышленных потребителей и бункеровки судов может стать эффективным решением для российского СПГ.

Основное препятствие для развития Арктики — отсутствие инфраструктуры, но не меньшей проблемой является отсутствие технических стандартов и нормативной документа-

ции. И в данном вопросе большую роль будет играть ПАО «Газпром», по заказу которого ведется разработка национальных стандартов бункеровки судов СПГ.

Отсутствие интенсивного судоходства в настоящее время, сильно выраженная сезонность грузоперевозок не позволяет высоко оценить вероятность масштабного использования СПГ в качестве моторного топлива. При этом экологические эффекты использования СПГ достаточно резко проявляются при интенсивном транзите и большом грузопотоке.

Судоходство на СМП потребует значительно меньшего количества топлива (по сравнению с Суэцким каналом) за счет существенного сокращения маршрута между Европой и Азией, что позволяет получать дополнительные доходы. Использование СПГ позволит получить еще больший экономический эффект.

Использование судов на СПГ для перевозки нефти, металлов и иных грузов позволяет окупить затраты на использование газового оборудования и специальных двигателей за 2,5–5,5 лет, что подтверждает высокую конкурентоспособность СПГ в Арктике.

При транспортном и инфраструктурном обустройстве российской Арктики было бы целесообразно учитывать, что эта объемная и дорогостоящая программа может стать интегрированной частью не только общероссийской стратегии в этой сфере. Но и неотъемлемым элементом важнейших международных транспортных маршрутов, что позволит в полной мере использовать транзитный потенциал страны в интересах развития народного хозяйства и ее внешнеэкономических связей

Дешевый в добыче природный газ является важнейшим преимуществом и фактором конкурентоспособности российского СПГ. Слабыми сторонами являются высокая стоимость доставки на рынки АТР (для проектов на Балтике, а главное – в Арктике, где ожидается основной прирост мощностей), а также отсутствие собственных технологий сжижения и производства необходимого сопутствующего оборудования. При этом в стоимости заводов по сжижению экстремально велика доля затрат на импортные комплектующие.

Кроме того, учитывая значительную долю расходов на транспортировку в конечной стоимости продукции, актуальным является создание собственного производства газозовозов. Газозовозы Россия пока тоже вынуждена заказывать на южнокорейских верфях.

Китай занимает лидирующее положение в сфере газификации своего транспортного сектора, в первую очередь, на базе СПГ. Так, к 2016г. в стране насчитывалось более 1,3 тыс. криогенных цистерн, 4,7 тыс. единиц АГНКС (автомобильных газонакопительных компрессорных станций), введено в строй 1,8 тыс. КриоАЗС. СПГ также активно используется в Китае для бункеровки судов. К 2020г. 20% речного флота Китая и 5% морского будут адаптированы к использованию СПГ. Количество судов, работающих на СПГ увеличится с нынешних 275 единиц в несколько раз

Согласно данным, утвержденным Центральной комиссией по согласованию технических проектов разработки месторождений Роснедр, к 2026г. объем грузопотока по СМП составит более 45 млн т/год (из которых 37,2 млн. т составит СПГ).

Большие экологические и экономические преимущества сулит перевод так называемого северного завоза на СПГ. Это даст дополнительную синергию и ускорит реализацию проектов по организации бункеровки сжиженным газом в Арктике, а также будет способствовать газификации различных потребителей в отдаленных районах. Для этого требуется не только строительство заводов по производству СПГ, но и формирование флота газозовозов и систем хранения СПГ у потребителя.

По инициативе Всемирного фонда дикой природы начата пилотная проработка возможности перевода на СПГ одного из арктических регионов – Чукотки, что позволит обеспечить устойчивое социально-экономическое развитие, повысить качество жизни населения. При этом объем выбросов в атмосферу снизится почти в два раза от текущего уровня.

## **2.12. ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ ДВО РАН**

1. Проведено детальное изучение продуктов сгорания металлоносных бурых углей Ерковецкого (Приамурье) месторождения. Продукты сгорания Ерковецкого месторождения исследованы на Экспериментально-Технологическом Комплексе «Амур». С помощью этой установ-

ки выделены и в дальнейшем детально изучены минералого-геохимические особенности самородного золота и некоторых других микрокомпонентов, полученные отдельно в шлаке, золе уноса и шламе. При близких содержаниях золота в твердых продуктах сгорания, в шлаке отмечаются наиболее высокая концентрация этого металла и состава включений. Более разнообразно золото в золе уноса. Кроме кластогенов, встречаются агрегированные и губчатые формы, первые из которых, вероятно, формировались в условиях преобразования при термических процессах, вторые – в виде дендритовидных индивидуумов с пустотами, заполненными несгоревшей органической массой. Золото в шлаке – это частицы с высокой пробностью, обеспеченной «выгоранием» включений других, более низкотемпературных материалов. В условиях термического процесса около 50% золота улетучивается при улавливании частиц размером до 5 мкм. Установлены температурные интервалы, при которых золото может переходить в газовую фазу в последовательности, зависящей от присутствия в нем примесей с минералами различной степени летучести. Эти особенности определяют степень потерь металла в термическом процессе.

• Сорокин А.П., Конюшок А.А., Агеев О.А., Кузьминых В.М. Минералого-геохимические особенности самородного золота в продуктах сгорания углей Ерквецкого месторождения (Верхнее Приамурье). // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2019. – №4. – С.141-150.

2. Экспериментально-Технологический Комплекс «Амур» предоставил возможность отдельного выделения всех видов продуктов сгорания угля, включая шлак, тяжелые и легкие фракции золы, шлама и остатков после очистки дымовых газов в мокром скруббере с водой (осадок и жидкий раствор). Угли Ерквецкого месторождения и продукты его сгорания были изучены методом плазменной спектроскопии (ICP-AES и ICP-MS), что позволило получить достоверные результаты анализа от самых высоких до следовых концентраций. В то же время, значительно улучшилась химическая пробоподготовка, которая включала в себя озоление образцов угля при температуре  $500 \pm 10^{\circ}\text{C}$ , плавление в тиглях, растворение в азотной кислоте, выпаривание и обработку кислотой. Установлено, что в бурых углях Ерквецкого месторождения наиболее ценные микроэлементы (Sr, Be, Rb и Nb) распределены неравномерно, а редкоземельные элементы имеют повышенные концентрации в кровельных породах и в угольном слое между туфами до 250 мг/кг. Исследования концентраций РЗЭ и отдельных микроэлементов показывают, что они практически равномерно распределены в шлаке, золе и шламе. Это меняет общее представление о нелетучести вышеупомянутых элементов, которое считает, что при сжигании угля они сохраняют в твердой фазе продуктов сгорания. Авторы рассматривают REE+Sc+Y как экономически ценные компоненты продуктов сгорания угля из изучаемого месторождения. В то же время, в этих углях были обнаружены токсичные элементы (Cu, Pb, Zn и др.), которые распространены в продуктах сгорания тепловых электростанций России и зарубежных стран.

• Sorokin A.P., A.A.Konyushok, O.A.Ageev, N.V.Zarubina, V.V.Ivanov, J.Wang. Distribution of rare earth and selected trace elements in combustion products of Yerkovetskoe coal deposit (Amur Region, Russia). // Energy Exploration & Exploitation. – 2019. – Vol 37. – №6. – PP.1721-1736.

3. Результаты определения РЗЭ, а также Y и Sc в золах Благовещенской ТЭЦ показывают высокие значения РЗЭ (313,08 г/т), лантана (70,4 г/т), цезия (134,89 г/т) и иттрия (73,84 г/т) по сравнению с таковыми золами целого ряда стран. Благовещенская ТЭЦ характеризуется высоким рудным потенциалом по сумме содержания редкоземельных элементов. При получении технологии их извлечения, они могут представлять крупную сырьевую базу для промышленного освоения.

• Дугин С.В., Кузьминых В.М. Зола Благовещенской ТЭЦ как перспективное сырье для извлечения редкоземельных и рассеянных элементов. // Тектоника, глубинное строение и минерагения Востока Азии: X Косыгинские чтения: Материалы Всероссийской конференции с международным участием, 10-12 сентября 2019, Хабаровск. – ИТиГ им. Ю.А.Косыгина ДВО РАН – С.156-158.

4. Проведено исследование механизма воздействия алифатических спиртов на структурные составляющие и межмолекулярные связи торфа. В качестве модельного соединения ис-

пользовали метиловый спирт, проявляющий высокую активность в процессах этерификации. Методами колоночной, тонкослойной и газовой хроматографии, ИК-, ЯМР13С-спектроскопии и хромато-масс-спектрометрии изучен индивидуальный и групповой состав продуктов экстракции. Показано, что предэкстракционная этерификация торфа способствует углублению процесса экстракции, повышению битуминозности торфа и его модификации высокомолекулярными сложноэфирными фракциями. Ключевую роль в формировании модифицированного воска играет метиловый спирт, который на стадии этерификации обеспечивает вывод из торфа смолистых веществ и его обогащение восковыми компонентами. Применение протонного катализатора способствует деполимеризации торфа и обеспечивает катализ реакций этерификации и переэтерификации. Модифицированный воск концентрирует в своем составе нерастворимые восковые вещества природного происхождения и высокомолекулярные продукты этерификации. Согласно полученным результатам, предварительная этерификация торфа является эффективным методом подготовки сырья – источника получения модифицированного торфяного воска, не нуждающегося в дополнительном обессмоливании и химической обработке. Приведенные сведения могут быть полезны для разработки способов получения этерифицированных торфяных и буроугольных восков, отличающихся от известных трудоемких технологий простотой и экономичностью.

• Носкова Л.П. Формирование модифицированного воска в процессе этерификации торфа. // Химия твердого топлива. – 2019. – №3. – С.60-65.

## **2.13. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ, ПЕТРОГРАФИИ, МИНЕРАЛОГИИ И ГЕОХИМИИ РАН**

### **Проект программы фундаментальных исследований Президиума РАН № 15 «Новые материалы с повышенными прочностными и функциональными свойствами» (подпрограмма 15.3 «Фундаментальные основы и энергоэффективные, ресурсосберегающие, инновационные технологии переработки минерального сырья, утилизации промышленных и бытовых отходов» за 2019 год**

1. Проект «Проблемно-ориентированные исследования техногенных отходов горнорудных предприятий Северного Кавказа и Забайкалья: размещение, вещественно-минеральный состав, оценка воздействия на экосистемы».

2. Исполнитель – Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук (ИГЕМ РАН)

3. Руководители проекта Бортников Н.С., научный руководитель ИГЕМ РАН, доктор геолого-минералогических наук, академик РАН; Богатиков О.А., главный научный сотрудник, доктор геолого-минералогических наук, академик РАН

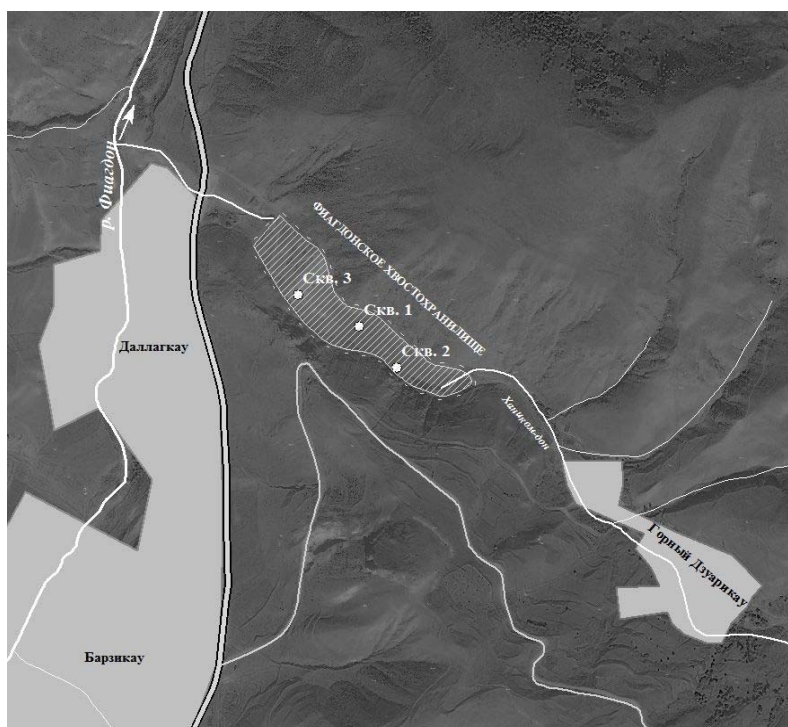
4. Общее количество научных сотрудников – исполнителей – 9. Среди них – академики РАН (2), члены-корреспонденты РАН (1), доктора наук (4), кандидаты наук (3), молодые ученые (1).

5. Актуальность проведенных исследований заключается в том, что техногенные отходы горнопромышленных производств относятся к специфической группе геологических объектов. Вовлечение их во вторичную переработку с полной утилизацией может быть реализовано при условии разработки принципиально новых технологических решений, обеспечивающих доизвлечение полезных компонентов и утилизацию экологически вредных.

6. Важнейший результат за 2019 год – получены и обобщены результаты геохимических исследований (поверхность, скважины) захороненных отходов Фиагдонского хранилища. Установлено, что содержания базовых металлов (Cu, Pb, Zn, Ti), существенно превышают усредненные величины, использованные Фиагдонским ГОКом, при подсчете запасов в захороненных отходах. При пересчете, с учетом вновь полученных результатов, запасы металлов Фиагдонского хранилища могут возрасти на 17-21%.



Впервые установлены повышенные содержания благородных металлов в основании разреза захороненных отходов Фиагдонского хранилища – Pd= 0.049-0.042 г/т; Pt= 1.29-0.66г/т; Au=0.05-0.25 г/т и в аргиллитах из отвалов поисковых штолен: Pd=0.007-0.003 г/т; Au=0.01-0.05 г/т; Ag=0.77-1.87 г/т (рисунок 1). Эти результаты в совокупности с данными по Авсандур-Ламардонское рудному полю позволяет считать разрез плинсбах-тоар-ааленских глинисто-флишоидных углеродистых отложений Самуро-Белореченской металлогенической зоны перспективным на черносланцевый золото-серебрянный и золотосульфидный (с платиной) тип оруденения.



**Рисунок 1 – Схема расположения скважин опробования Фиагдонского хвостохранилища**

#### **Публикации в рецензируемых журналах:**

1. Gurbanov A.G., Bogatikov O.A., Leksin A. B., Gazeev V.M., Gurbanov O. A., Lolaev A. B., Ilaev V. E. First Data on Variations in the Contents of Macro- and Microelements and Precious Metals in Vertical Sections in Industrial Wastes of the Fiagdon Tailing Dump (Republic of North Ossetia–Alania). Doklady Earth Sciences. 2019. Vol. 487. Part 1. P. 782–785. DOI 10.1134/S1028334X1907002X (Web of Science).

2. Гурбанов А.Г., Лексин А.Б., Газеев В.М., Гурбанова О.А., Лолаев А.Б., Цуканова Л.Е., Илаев В.Э., Дзобоев С.О., Оганесян А.Х. Вариации содержаний макро- и микроэлементов в вертикальных разрезах промышленных отходов Фиагдонского хвостохранилища (Республика Северная Осетия-Алания). // Вестник ВНИЦ РАН. – 2019. – №1. – Т. 19. – С. 59-68. ISSN 1683-2507 DOI 3671/VNC.2019.1.27285 (РИНЦ).

3. Гурбанов А.Г., Лексин А.Б., Газеев В.М., Гурбанова О.А., Лолаев А.Б., Илаев В.Э. Закономерности в характере распределения в вертикальных разрезах содержаний макро- и микроэлементов и в распределении по латерали величин средних содержаний ряда элементов по данным изучения керна скважин, пробуренных на всю мощность Унальского хвостохранилища (Республика Северная Осетия-Алания) // Вестник ВНИЦ РАН. – 2019. – №2. – Т. 19.– С.78-88. DOI 10.23671/VNC.2019.2.31380 (РИНЦ).

#### **Краткие формулировки всех важнейших результатов**

- Впервые установлены количественным (ICP MS) методом резко повышенные содержания (таблица) платины, элементов платиновой группы (ЭПГ) и золота в захороненных промышленных отходах Фиагдонской обогатительной фабрики (ФОФ), перерабатывающей руды

полиметаллических Какадур-Ханикомского и Кадат-Хампаладагского месторождений. Эти данные, в сочетании с результатами поисковых работ на золото-серебряный и золото-сульфидный типы оруденения (**платина и ЭПГ не определялись**), проведенных в пределах Какадур-Ламардонской рудной зоны Авсандур-Ламардонского рудного поля, расположенных на 400-600 м гипсометрически выше штольневых горизонтов вышеуказанных месторождений, пробирным анализом бороздовых проб, отобранных с поверхности и из канав вскрывших рудные зоны с содержаниями Au от 0,01 г/т до 3,0 г/т и Ag- от 0.3 до 20 г/т [Давыдов и др., 2009], расположенные в отложениях плинсбах-тоар-ааленской глинисто-флишоидной углеродистой формации, доказывают, по нашему мнению, наличие нового для Северной Осетии и Северного Кавказа ранне-среднеюрского золото-платинового черносланцевого с полиметаллами оруденения.

**Таблица**

**Содержание (в г/т) благородных металлов в низах разреза хвостохранилища**

Номера проб	Ru	Rh	Pd	Ir	Pt	Au
Скв. 2, 9/16 глубина 9м	0,001	0.002	0,046	0.009	1,29	0,05
Скв.1, 19/16 глубина19м	0,001	0.002	0,049	0.009	0.66	0.08
Скв.1, 20/16 глубина20м	0,001	0.002	0,045	0.009	0.94	0.17
Скв.3, 28/16 глубина28м	0,001	0.002	0,042	0.008	0.07	0,25
Скв.3, 30/16 глубина30м	0,001	0.001	0,044	0.008	0.07	0,11

- На основании анализа новых геохимических данных ([Гурбанов А.Г. и др., 2019] рассчитаны средние содержания оксидов и серы (в масс. %) и базовых металлов (в г/т) в промышленных отходах, находящихся в хвостохранилище. Они составили для: MnO= 0.201; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>=8.62; S=2.61; Cu=345.73; Zn=1997.4; Ba=1795.66; Pb=2709.5; As=1114.2. В связи с тем, что эти величины средних содержаний базовых металлов оказались выше или ниже средних содержаний этих же металлов, использованных Фиагдонским ГОКом для подсчета запасов хранящихся в хвостохранилище, их условные запасы могут измениться следующим образом: **Pb** – содержание было 0.19%, стало 0.2709%, запасы были 4560 т, стали 6501.6 т; **Zn** – содержание было 0.36%, стало 0.1997%, запасы были 8400 т, стали 4659.7 т; **Cu** – содержание было 0.12% стало 0.03457%, запасы были 2880 т, стали 829.7 т; **Fe** – содержание было 6.8% стало 8.62%, запасы были 163200 т, стали 206880 т; **Mn** – содержание было 0.14% стало 0.201%, запасы были 3360 т, стали 4824 т. Эти данные делают разработку способа полной утилизации отходов, с предварительным извлечением из них экономически ценных и экологически опасных элементов, довольно привлекательным мероприятием с экономической точки зрения.

- На основании анализа результатов геохимических исследований всех проб (71 шт.) из керна трех скважин, пробуренных в разных местах хвостохранилища (на востоке – скв. № 2 глубиной 10 м; в центре – скв. № 1 глубиной 22 м; на западе – скв. № 3 глубиной 31.5 м), выявлен характер распределения содержаний базовых металлов в вертикальных разрезах.

- При анализе рассчитанных величин средних содержаний базовых металлов выявлены следующие закономерности в характере их распределения по латерали с востока на запад хвостохранилища на 800 м:

- снижение концентраций: Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (8.72-7.96-6.18), Cu (388-336-313), Pb (3045-2701-2382);
- снижение содержания к центру и резкое увеличение на западе: Ba (659-579-4149);
- постепенное увеличение концентраций: S (2.22-2.61-3.01), As (904-1066-1372);
- постепенное увеличение величин средних содержаний в центральной части хвостохранилища и его незначительное снижение в западной части: MnO (0.19-0.25-0.164), Zn (1944-2051-1997).

- В вертикальных разрезах по керну скважин №№ 1-3 установлены положительные аномальные (максимальные) и минимальные содержания ряда оксидов и базовых металлов (Pb, Zn, Cu, As, Ba, MnO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Максимальные концентрации оксидов Mn и Fe и ряда элементов в вертикальных разрезах промышленных отходов, скорее всего, были обусловлены: а) на-

lichem богатой, но тонкодисперсной или наноразмерной вкрапленности рудных минералов (галенита, сфалерита, халькопирита арсенопирита и др.) в жильных минералах из рудных тел, которые не флотировались и «уходили» в хвосты, обусловив в них высокие содержания базовых металлов. Аналогичная картина была установлена в хвостохранилищах Тырнаузского вольфрамово-молибденового комбината [Гурбанов и др., 2015; Винокуров и др., 2016]; б) сбоями в процессе флотации, в результате чего рудные минералы могли «уходить» в хвосты; в) поступлением на обогатительную фабрику полиметаллических руд с других месторождений, применительно к которым разработанная для руд месторождений Фиагдонского ГОКа технология обогащения руд не была адаптирована.

7. Все поставленные в плане НИР на 2019 год задачи по теме полностью выполнены на высоком уровне.

8. Количество опубликованных монографий – нет.

9. Количество опубликованных статей в рецензируемых изданиях – 3.

10. Количество докладов на конференциях – 1.

11. Количество результатов интеллектуальной деятельности – нет.

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

### *Горное недроведение*

#### **Геомеханика**

В 2019 г. целью выполненной научно-исследовательской работы по Государственному контракту являлась разработка научно обоснованных предложений по организации геодинамического мониторинга опасных сейсмо-геодинамических процессов на основе опыта создания и функционирования геодинамических полигонов в Кузбассе.

Исходными данными для разработки темы являлись результаты многолетних наблюдений, выполненные на комплексных сейсмо-геодинамических полигонах Кузбасса и Южного Урала.

В ходе выполнения работы были проведены исследования и получены следующие результаты:

- Приведены результаты анализа опыта создания и ведения комплексных наблюдений на геодинамических полигонах Кузбасса.

- Разработаны научно обоснованные предложения по принципам построения систем мониторинга состояния геологической среды на комплексных сейсмо-геодинамических полигонах.

- Разработаны научно обоснованные предложения по принципам рационального конструктивного исполнения систем мониторинга на геодинамических полигонах, обеспечивающих наибольшую эффективность контроля за состоянием вмещающей геологической среды.

- Разработаны научно обоснованные предложения по методам комплексной интерпретации результатов мониторинговых наблюдений на основе системных представлений о поведении горного массива в зонах ведения горных работ.

- Разработаны научно обоснованные предложения по управляемому воздействию на массив технологией горных работ, не допускающему развития кризисных ситуаций.

- Разработаны научно обоснованные предложения по организации геодинамического мониторинга опасных сейсмо-геодинамических процессов на основе опыта создания и функционирования геодинамических полигонов на объектах угледобычи Кузбасса.

Разработан метод комплексной интерпретации результатов мониторинговых наблюдений основанный на системном представлении массива горных пород через его фундаментальные функции – свойства, строение, состояние.

Новым результатом являются предложения по управляемому воздействию на массив технологией горных работ. Выделим наиболее важные из них:

- На стадии проектирования отдавать предпочтение схемам раскройки шахтных полей с ориентацией лав в направлении преобладающего распространения сейсмической энергии (каналов энергомассопереноса) от очаговых зон Южного Кузбасса и Алтае-Саянской сейсмогенной области (ЮВ-СЗ).

- Обеспечить согласованный порядок отработки угольных пластов на смежных шахтных полях, предусматривающий планомерный характер их отработки (исключающий встречные фронты).

- На период сейсмической активизации максимально снижать нагрузку на ближайшие к очаговым зонам действующие лавы (не останавливая полностью горные работы).

- Не допускать зависание основной и непосредственной кровли сверх нормативно установленных значений.

- Использовать на участках сейсмических активизаций одностороннюю (нисходящую) схему движения комбайна в очистном забое, не допуская его движения на выработанное пространство соседней лавы.

- Предусмотреть переход на бесцеликовую схему отработки лав (либо с отработкой межлавных целиков при отработке лавы);

- Использовать возможности первоочередной отработки на вновь вскрываемых горизонтах юго-восточных флангов месторождений, обеспечивающей ослабляющее влияние зон сдвижения на распространение поверхностных сейсмических колебаний.

- Использовать в зонах сейсмических активизаций управляемый (циклично изменяемый) скоростной режим движения забоя лавы с периодичностью, соответствующей шагу посадки лавы. Допустимы повышенные скорости отработки лавы на первых метрах после посадки её кровли и замедленные – в период, предшествующий очередному циклу посадки (с сохранением средних темпов отработки лавы).

Разработанные в ходе выполнения НИР предложения применимы для разработки нормативного документа, предназначенного для организации геодинамического мониторинга опасных сейсмо-геодинамических процессов на основе опыта создания и функционирования геодинамических полигонов на объектах угледобычи.

Перспективы реализации результатов работы:

- 1). Задачей перспектив развития систем мониторинга в рамках МФСБ угольных предприятий является обеспечение модернизации и совершенствования средств до уровня интегрированных интеллектуальных систем контроля состояния недр с контролем всех форм развития негативных процессов и современным уровнем их информационного обеспечения.

Реализация технологии обеспечения эффективной и безопасной отработки месторождений полезных ископаемых требует выполнения ряда принципиальных технологических требований:

- При проведении работ наибольшая концентрация наблюдений должна обеспечиваться в геодинамически активных (энергоактивных) зонах, где наиболее высока плотность энергии, а процессы носят нелинейный характер, и, следовательно, наиболее вероятны опасные геодинамические события, нарушающие равновесное состояние среды.

- Специальные усилия должны быть направлены на предотвращение случаев создания техногенных геодинамически опасных зон в процессе ведения горных работ.

- Недостаток априорной информации о протекании процессов, происходящих в горном массиве, существенное влияние случайных факторов требуют разработки методов оперативного анализа и комплексной оценки экологического риска с целью прогноза развития ситуации и быстрого принятия решений на основе данных мониторинга геодинамического состояния геологической среды в режиме реального времени.

- Так как процессы установления геодинамического равновесия продолжают длительное время после окончания ведения горных работ (а такие методы консервации как затопление могут вести к росту отклонений от состояния равновесия), то и проведение мониторинга должно продолжаться в течение длительного времени после окончания горных работ.

Решение поставленных задач уже в обозримой перспективе потребует обеспечить достаточно серьезный прорыв в развитии и совершенствовании ранее разработанных средств контроля, предусмотреть их полноценное методическое, программное и информационное обеспечение.

2). В целях повышения качества разрабатываемой проектной документации, учитывая предложения по организации геодинамического мониторинга опасных сейсмо-геодинамических процессов необходимо предусмотреть обоснование дополнительных требований к составу проектных решений (документации).

Структура проектной документации должна быть дополнена разделом (подразделом): «Организация геодинамического мониторинга». Указанный раздел (подраздел) должен содержать позиции по структуре и составу средств организации геодинамического мониторинга опасных сейсмо-геодинамических процессов, рационального конструктивного исполнения, основных принципов интерпретации результатов мониторинга, алгоритма принятия решений и управляемого воздействия на массив для обеспечения сейсмо-геодинамической безопасности. Этот раздел (подраздел) разрабатывается на основании заключения специализированной организации о предпроектных изысканиях, которые в обязательном порядке должны актуализировать для исследуемых условий следующие направления:

- Выявление актуальных рисков проявления сейсмо-, газо- гидрогеодинамических явлений при ведении горных работ с учетом преобладающих форм негативного влияния техногенного воздействия на массив горных пород.

- Разработка архитектуры сети геодинамических наблюдений и видов мониторинга. Обосновывается необходимая степень детализации (локальный, зональный, региональный уровни мониторинга) по вопросам эффективного обеспечения сейсмо-, газо- гидрогеодинамической безопасности.

- Разработка локальных нормативных требований по обеспечению безопасности ведения горных работ при разработке участков недр (месторождений, шахтных полей, участков шахтных полей) и предотвращению аварийных ситуаций сейсмо-, газо- гидрогеодинамического характера, в том числе путем управляемого воздействия на массив при ведении горных работ как единого технологического процесса.

- Разработка требований для принятия оперативных технических или технологических решений по обеспечению безопасности работ на горном предприятии в случае изменения геодинамической ситуации.

### **Геометрия и квалиметрия недр**

25.11.2019г. на рассмотрение предоставлен проект Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила обеспечения устойчивости бортов и уступов карьеров, разрезов и откосов отвалов» («Правила...») с Приложениями, разработанный ИПКОН РАН.

В результате анализа «Правил...» считаем, что их разделы и приложения должны быть доработаны и существенно расширены.

При значительных глубинах современных открытых разработок актуальными становятся максимальные параметры (углы, высота) бортов карьеров, уступов и отвалов при обеспечении безопасности в них горных работ. От этого зависит производительность предприятия и площадь отчуждаемых территорий. Необходимо оценивать безопасные условия ликвидации карьеров при завершении горных работ в них, имея в виду, что к стадии завершения работ подходят многие открытые разработки Кузбасса и других регионов.

Решение проблемы устойчивости откосов глубоких выемок требует единого надежного подхода к ее геомеханическому обоснованию.

На современном этапе система мониторинга за состоянием уступов, бортов карьеров, отвалов для обеспечения сохранности территорий, прилегающих к открытым выработкам и обоснованию параметров высоких устойчивых уступов на предельном контуре, должна выполняться с помощью высокоточного измерительного оборудования.

Нами выполнен анализ существующих подходов к решению задачи наблюдения за деформационными процессами. По нашему мнению, наиболее перспективными технологиями геомеханического мониторинга состояния горных массивов являются представленные в таблице.



Таблица

Методы мониторинга	Разрешающая способность	Ограничения и особенности применения
Лазерное сканирование	Высокая скорость измерения до 10 000 точек/сек. Точность сканирования 20-50 мм на 500 м <sup>2</sup> . Возможность непрерывного наблюдения.	Требования к погодным условиям; высокая стоимость оборудования. Ограниченная дальность измерений до 1000 м, трудоемкость установки лазерных сканеров.
Роботизированные тахеометры Leica GeoMos	Высокоточные электронные тахеометры и т.д., работающие в автоматическом режиме. Измерения с высокой скоростью. Исключены ошибки, связанные с человеческим фактором. Точность измерения углов 1".	Программное обеспечение Leica GeoMoS надежно работает только с оборудованием Leica. Для Trimble и Topcon качество не гарантируется.
Радарная съемка	Высокая точность, погрешность не выше 1мм. Высокая дальность съемки.	Высокая стоимость; Затруднение применения для долгосрочных наблюдений. Требования к погодным условиям.
Спутниковая интерферометрия	Позволяет вести наблюдения на больших по площади территориях. Имеют высочайшую точность измерений (погрешность до 1 мм)	Интерферометрические спутники, работают с различным разрешением, в различных диапазонах длин волн и с различной частотой съемки одной и той же территории. Это определяет пространственное разрешение и зависимость от атмосферных и ионосферных помех, влияние растительности, снегового покрова и т.д.

В связи с необходимостью разработки мероприятий для предотвращения затопления По-рецкого гипсово-ангидритового рудника подземными водами в 2019 году были выполнены следующие работы:

1. Анализ исходных данных и установление основных причин прорыва подземных вод в выработанное пространство.
2. Определение размеров барьерных целиков вокруг геологоразведочных скважин.
3. Изготовление индуктивных деформометров ДИ-7, оборудование наблюдательных станций в панелях и проведение контрольных наблюдений.

На основе анализа случаев прорыва подземных вод и проведения обследований выработанного пространства было установлено, что основной причиной прорывов вод является высокая водопроницаемость окружающих стволы геологоразведочных скважин пород, обусловленная их природной трещиноватость и низким качеством тампонажа.

Предварительно рекомендовано для предотвращения прорывов вод в выработки размеры барьерных целиков вокруг геологоразведочных скважин увеличить до 40 м.

Кроме барьерных целиков, предусмотрен обход опасных по затоплению рудника зон, контролируемых опережающим бурением контрольных скважин (шпуров).

Для контроля деформаций междукамерных целиков и прогибом кровли камер на участках прорыва подземных вод и в зонах водопроявлений оборудованы подземные наблюдательные станции. Наблюдения на этих станциях проводятся по разработанной и проверенной на руднике методике. Технические средства измерений по точности и надёжности соответствуют условиям рудника и задачам исследований.

### Подземная геотехнология

Продолжены работы по внедрению мониторинга состояния массива горных пород с помощью метода естественной электромагнитной эмиссии (ЕЭМИ) для предупреждения динамических явлений в условиях отработки пластов В<sub>12</sub> и В<sub>26</sub> шахты «Северная» АО «Ургал-уголь».

По пластам В<sub>12</sub> и В<sub>26</sub> горные работы ведутся и, в перспективе 2020 года, все также будут находиться выше границы отнесения пластов к удароопасным, что не требует проведение прогноза удароопасности. В качестве меры контроля используется геофизический мониторинг на регулярной основе для анализа происходящих процессов.

Локальный мониторинг проводится на склонных к горным ударам угольных пластах В<sub>12</sub> и В<sub>26</sub> для:

- выявления на них участков нестабильного состояния;
- выявления скрытых геологических нарушений;
- уточнения состояния массив горных пород на границе отнесения к удароопасным.

В ходе анализа результатов наблюдений отмечено в IV квартале 2019 г. увеличение средних показателей амплитуд на фоне некоторого снижения или стабилизации максимальных значений амплитуды регистрируемых сигналов (параметр А). В динамике этот рост начался в II квартале исследуемого периода. Рост средних показателей параметра А в два раза при производстве измерений во всех трех положениях антенны отмечен впервые. Указанный эффект, не является какой-либо аномалией с возможными последствиями, но будет изучен в серии последующих наблюдений в выработках пласта В<sub>12</sub>.

Исследовательские работы 2019 года в пределах горного отвода шахты № 1-5 рудника Баренцбург при отработке удароопасного пласта «Верхний» были сосредоточены на геофизическом мониторинге состояния массива при ведении горных работ. Поставленные задачи по оценке геодинамического состояния массива горных пород решалась посредством использования и анализа данных следующих геофизических методов:

- локальный уровень – метод естественной электромагнитной эмиссии (ЕЭМИ) для получения данных по напряжённому-деформированному состоянию массива вокруг капитальных и подготовительных выработок;
- региональный (зональный) уровень – метод непрерывного геофизического мониторинга с помощью существующей сейсмической сети.

Отмечаем отсутствие какой-либо сейсмической активности в пределах как выемочного участка 29 северной лавы, так и шахтного поля в целом. Не подтвердились предположения, о развитии процесса проявления сейсмической активности по схеме – до первой посадки активность ничтожно мала или отсутствует вообще, но затем процесс планомерно начинает развиваться.

Предположения основывались на «архивном опыте» и анализе геологической информации. На основании анализа материалов по строению, составу, механическим свойствам и температурным условиям угольных пластов и вмещающих пород Баренцбургского месторождения были выделены постоянные и переменные геологические факторы.

К постоянным факторам отнесены:

- проявление удароопасности пластов Нижний и Верхний с глубины горных работ 400 м;
- практически постоянная мощность толщи пород между пластами Нижний и Верхний, состоящей из чередующих слоев аргиллита, алевролита и песчаника преимущественно мощностью от 0,9 до 3,5-9,0 м;
- наличие по всему месторождению над пластом Верхний толщи прочных песчаников общей мощностью до 150 м, которая при подработке пластов может разделяться на отдельные монолитные слои мощностью от 10-17 до 40- 60 м.

К переменным факторам можно отнести:

- изменение мощности толщи мерзлых пород от 90-210 м на «Собственном» участке пласта «Верхний» до 400-470 м на «Контрактном» участке пласта «Нижний»;
- полное отсутствие слабopрочного прослоя из перемятого углистого аргиллита в непосредственной почве пласта Верхний, и наличие его в непосредственной почве пласта Нижний при различном распространение на площадях Собственного и Контрактного участков.

В текущем случае активность отсутствует и после первой посадки кровли. Этот факт увязываем с правильным выбором технологической схемы отработки (с использованием податливых 5-ти метровых целиков), угла заложения линии очистного забоя относительно кливажа (трещин в угольном пласте) и проведение горных работ в нетронутым участке шахтного поля. Отсутствие давления блочных структур вышеотработанных лав на менее прочные уголь-

ный массив и породы почвы снизило средне- и высокоэнергетические события до минимума. Неблагоприятные процессы на сопряжении лавы и подготовительных выработок, в выработанном пространстве (обрушение) конечно происходят, но находятся ниже порога чувствительности системы, которые были установлены для фильтрации слабоэнергетических событий, не влияющих на изменение текущих показателей удароопасности.

### **Теория проектирования освоения недр**

В 2019 году продолжился «Текущий геомеханический контроль состояния горных выработок в период отработки подземным способом запасов до отм.-380м трубки «Удачная» в части оценки и прогноза развития горного давления и сдвижения горных пород и разработки рекомендаций по безопасной отработке месторождения»

В соответствии с техническим заданием на 2018-2019 гг. для реализации проекта геомеханического мониторинга, были выполнены следующие виды работ:

- совместно с сотрудниками отдела геотехнического мониторинга Удачинского ГОКа и маркшейдерским отделом рудника «Удачный» была заложена специальная подземная наблюдательная станция системы мониторинга на ЗВК и ВВК гор. -380м и проведена исходная серия наблюдений на данной станции;
- проведена контрольная серия комплексных наблюдений по всем имеющимся станциям геомеханического мониторинга;
- проведено визуальное обследование горных выработок горизонтов -345м и -365м и -380м.

По результатам проведенных работ, сделаны следующие выводы:

а). На основании полученных данных мониторинга состояния массива и горных выработок, разработаны предварительные критерии критического состояния пород по категориям на различных стадиях деформирования пород. В процессе дальнейших наблюдений, критерии должны уточняться. При развитии очистных работ в западном и восточном рудных телах, формировании зон сдвижений и зон повышенного горного давления, следует ожидать перехода состояния пород и выработок из одной категории состояния в другую, более высокую и опасную.

б). Часть нарезных рудных выработок по ВРТ гор. -345м и -365м, которые находятся в проходке, требуют пересмотра паспортов крепления и неукоснительного их исполнения.

Так, при проходке рудных выработок гор. -345м, где они пересекают породные ксенолиты, установлено следующее. Ксенолиты сложены переслаиванием относительно крепких известняков и доломитов, мощностью от 0,5 до 1,5м, сильно трещиноватых, с глинистым заполнителем трещин и прослоев мергелей, которые при вскрытии, насыщаясь влагой из рудничной атмосферы переходят в неустойчивое состояние, образуют вывалы в боках выработок на глубину до 1,0 метра. В таких местах выработки закреплены согласно паспортов крепления, принятых на проходку по руде только в кровле и пяте свода, а крепления неустойчивой части горного массива в боках выработок типовыми паспортами не было предусмотрено.

Предложен комплекс организационных и технических мер, внедрение которых обеспечит длительную эксплуатацию наблюдательных станций.

в). С началом широкомасштабных работ по отработке в 2017-2019 годах, началось формирование зон опорного давления. Как правило, на начальной стадии ведения очистных работ, негативные процессы воздействия повышенных напряжений проявляются незначительно, нарастая пропорционально увеличению пролета отработки. В 2020 году, ожидается формирование максимального пролета отработки по ВРТ в пределах гор. -365м и по ЗРТ в пределах гор.-398 м. Дальнейшее увеличение коэффициента концентрации напряжений возможно только за счет дополнительных пригрузок, вызванных отработкой на выше – и нижележащих горизонтах. В связи с этим, в 2020 году возможно более сильно выраженное воздействие на состояние подготовительных и нарезных выработок, расположенных впереди фронта отработки.

### **Физико-техническая геотехнология**

В части изучения и геомеханического обоснования текущих технических решений по безопасной и эффективной отработке руд на рудниках «Галнаха» в 2019 году был выполнен анализ горнотехнической и геомеханической обстановки на рудниках «Октябрьский», «Гай-

мырский» и «Комсомольский» и разработаны рекомендации по повышению эффективности и безопасности ведения горных работ в 2020 году».

1. За период с октября 2018 по октябрь 2019 года, на рудниках не зафиксировано инцидентов, связанных с обрушениями горной массы, что свидетельствует об эффективности предложенных рекомендаций по параметрам систем разработки и способам крепления горных выработок.

2. Процесс сдвижения массива горных пород на всех рудниках происходит равномерно, в режиме оседания, без существенного увеличения интенсивности. Интервалы с наибольшими значениями оседаний по всем линиям приурочены к средней части выработанного пространства. Продолжаются оседания профильных линий, расположенных над закладочным массивом, что свидетельствует о высоких пластических и деформационных свойствах закладочного массива.

3. Инструментальной оценкой категории удароопасности участков горных выработок, выполняемой УППГУ рудников, во всех случаях установлена категория удароопасности «неопасно». Повышенные напряжения локализуются на безопасном удалении от контура горных выработок.

4. Сейсмическая обстановка в поле рудника «Октябрьский» характеризуется как удовлетворительная. Основным сейсмообразующим фактором в настоящее время является повторная подработка массива выемкой медистых и вкрапленных руд. На ближайшую и среднюю перспективу, ожидается дальнейшее нарастание сейсмической активности в поле медистых и вкрапленных руд – будет продолжаться увеличение числа событий, а на северном фланге (вне зоны подработки богатыми рудами) – проявление событий с высокой энергией.

Сейсмическая обстановка в поле рудника «Таймырский» характеризуется как сложная. На всех отрабатываемых участках, сейсмическая активность проявляется вблизи рабочих панелей на уровне горизонта отработки и в подстилающих породах. Наиболее сейсмически активной зоной рудника в настоящее время является восточный фланг шахты 2. На средне- и долгосрочную перспективу, ожидается увеличение сейсмической активности как по количеству, так и по энергии событий

Сейсмическая обстановка в поле шахты «Скалистая» характеризуется как повышенная. В поле залежи С-1 наблюдается снижение активности в связи со сформированной конфигурацией выработанного пространства. При этом, при вовлечении в отработку панели 5, ожидается резкий рост сейсмической активности. В поле залежи С-2 сейсмическая активность распределена достаточно равномерно, не образуя отдельных зон. Сейсмическая активность западных флангов панелей заметно превосходит восточные. В ближайшей перспективе, ожидается усиление сейсмической активности.

5. Прогнозная оценка напряженности рудного массива при развитии горных работ в 2020 году выполнена методом математического моделирования.

5.1. На руднике «Октябрьский» отработка богатых руд на всех рабочих участках будет вестись в благоприятных условиях. Уровень напряжений впереди фронта очистных работ при отработке богатых руд составляет  $40\div 90$  МПа, с концентрацией до 130 МПа в угловых частях. На горизонте медистых руд, в подработанной богатыми рудами зоне, очистные работы будут вестись с напряжениями не более 40 МПа. Напряжения в угловых восточном и западном участках панели 3 могут составлять до 80 МПа, с концентрацией до 90 МПа в угловых частях. На горизонте вкрапленных руд, напряжения составляют до 60 МПа.

5.2. На руднике «Таймырский» величины напряжений в зонах ведения очистных работ в 2020 году, могут составлять: для шахты 1 –  $50\div 90$  МПа, для участка отработки Большой горст –  $50\div 60$  МПа, для шахты 2 –  $70\div 90$  МПа, для шахты 3 –  $50\div 90$  МПа. Такие величины напряжений составляют  $30\div 100$  % от прочности богатых руд на одноосное сжатие, что может привести к проявлению горного давления в динамической форме. Восточная разрезка по шахте 2, за счет малого сформированного пролёта, пока не оказывает негативного воздействия на образующийся целик.

5.3. На руднике «Комсомольский» величины напряжений в зонах ведения очистных работ в 2020 году, могут составлять: для района «Запад» –  $40\div 60$  МПа, для района «Восток» –  $25\div 55$  МПа. Такой уровень напряжений составляет  $30\div 80$  % от прочности богатых руд на одноосное сжатие, что на локальных участках может привести к проявлению внешних признаков проявления горного давления.

5.4. На шахте «Скалистая», отработанные участки богатых руд залежей С-1 и С-2, не оказывают взаимного влияния. Величины напряжений в зонах ведения очистных работ в 2020 году, могут составлять: для залежи С-1 – 40÷80 МПа, в угловых частях и в целике СУ – до 100 МПа; для залежи С-2 – 40÷85 МПа, с концентрацией до 100 МПа на локальных участках. Такие величины напряжений составляют 40÷100 % от прочности богатых руд на одноосное сжатие, что может привести к проявлению горного давления в динамической форме.

6. На основании данных кернового бурения, произведена оценка направления и величины действующих напряжений на руднике «Комсомольский». Для северного фланга залежи Ц-О района «Восток» установлено, что вертикальные напряжения в 1,5-1,8 раз превышают горизонтальные. При этом, горизонтальные напряжения субмеридионального направления в среднем на 20% превышают напряжения субширотного направления.

Для залежи С-2 района «Запад» установлено, что вертикальные и горизонтальные напряжения имеют близкие величины, а результирующий вектор в широтной вертикальной плоскости направлен с востока на запад под углом около -44° к горизонтали. Величина главных напряжений превышает 0,7 от предела прочности на одноосное сжатие, что может привести к проявлению горного давления в динамической форме.

### **Практическая реализация результатов исследований**

В 2019 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, например, был выполнен геомеханический мониторинг разрезов «Южный» ОАО «Вахрушевуголь» и разреза «Кумертауский» ОАО «Башкируголь» с обоснованием параметров откосов внутренних отвалов с выдачей заключения об их устойчивости.

Подготовлено Заключение о возможности сокращения ширины барьерного целика у затопленных выработок ликвидированной (мокрая консервация) шахты «Чуевская-Северная», с разработкой мероприятий по обеспечению гидрогеологической безопасности при проведении штрека № 0116 и отработке запасов лавы № 0114 в опасной зоне и спуску воды из затопленных выработок.

Выполнено «Определение положения верхней границы выемочного столба лавы №109 ООО «Шахтоуправление «Садкинское», обеспечивающей безопасную отработку запасов антрацита пласта  $m_8^1$  под водонасыщенными песками по результатам анализа и прогноза развития гидрогеологической ситуации в водоносном горизонте палеоценолигоценых отложений».

Всего в 2019 г. выдано более 100 заключений и рекомендаций.

#### *Знаковое событие*

10 апреля 2019 года исполнилось 70 лет генеральному директору профессору Яковлеву Д.В.

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

В 2019 г. в Научно-производственной корпорации «Механобр-техника» продолжалось проведение исследований, направленных на создание новых прогрессивных технологий по дезинтеграции, классификации, обогащению, переработке различных материалов, промышленных и коммунальных отходов, создание конкурентоспособного горнодобывающего и обоганительного оборудования, используемого при добыче и переработке сырья и отходов, а также на снижение энергозатрат при соответствующих технологических операциях.

### **1. Основные результаты важнейших поисковых фундаментальных и прикладных исследований**

В 2019 г. в Научно-производственной корпорации «Механобр-техника» продолжалась работа над проектом Российского научного фонда «Вибрационные технологии переработки различных материалов в передовых интеллектуальных производствах – теория, моделирова-



ние, основы создания мехатронных комплексов для их реализации» и получены следующие научные результаты:

1. Выполнены технологические исследования, направленные на подбор оптимальных режимных параметров для вибрационных технологий сепарации и получения кондиционных товарных продуктов (металлических порошков), отвечающих требованиям использования аддитивных технологий в различных отраслях промышленного производства. Установлен наилучший режим сепарации, при этом выявлено, что применение эффекта вибрационного псевдооживления материала при подаче питания в рабочую зону сепаратора обеспечивает повышение эффективности разделения в процессе сепарации.

2. Проведены укрупнённые испытания опытно-промышленного электростатического сепаратора барабанного типа с подачей питания в режиме вибрационного псевдооживления на промышленном предприятии АО «ПОЛЕМА» (г. Тула), являющемся одним из крупнейших отечественных производителей металлических порошков различных марок.

3. Выполнен комплекс исследований по влиянию вибрационных воздействий на гетерогенные коллоидные системы. Исследования проводились с использованием уникального вибрационного стенда, сконструированного и изготовленного на предыдущем этапе проекта в 2018 году.

4. Впервые установлено явление сегрегации по крупности пузырьков воздуха двухфазной пены газ-жидкость под влиянием вибрации в присутствии коллоидных поверхностно-активных веществ.

5. Экспериментально установлен факт повышения селективности распределения скорости прохождения твердых гидрофильных и гидрофобных частиц через пенный слой в условиях вибрационного воздействия, что открывает перспективы совершенствования технологии пенной сепарации минерального сырья.

6. Установлены новые закономерности вибрационной инжекции газа в жидкость, учитывающие параметры вибрации вибрационного стенда в широком диапазоне значений размеров отверстий инжектора и высоты столба жидкости. Выявленные закономерности позволяют развить теорию виброинъекции газов в жидкость, а также усовершенствовать промышленную технологию вибрационной флотации и пенной сепарации.

7. Выполнены теоретические исследования, позволяющие оценить влияние угла наклона осей роторов дебалансных вибраторов к горизонтальной плоскости на устойчивость и стабильность синхронно-синфазного режима вращения вибраторов в вибрационной дробилке. Обнаружено, что при одних и тех же параметрах машины увеличение угла наклона осей роторов вибраторов отрицательно сказывается на устойчивости синхронного вращения и стабильности фазировки самосинхронизирующихся вибраторов. Таким образом, вибрационная динамическая система с плоскими колебаниями рабочих органов с точки зрения устойчивости и стабильности является более предпочтительной, и, как следствие, более эффективной и надежной в работе, чем система с пространственными колебаниями рабочих органов.

8. Разработана методика, позволяющая на основании теоретических и экспериментальных исследований определить в режиме рабочего хода численные значения коэффициента вязкого сопротивления колебаниям, а также безразмерного коэффициента запаса по устойчивости синхронно-синфазного режима вращения дебалансных вибраторов. Это, в свою очередь, позволит определить усредненные значения амплитуд колебаний рабочих органов устройства с учетом технологической нагрузки. Возможность вычисления этих значений на стадии рабочего проектирования позволит существенно улучшить параметры устройств, в которых используется рассмотренная схема.

9. Выполнены экспериментальные исследования вибрационной дезинтеграции перспективного природного типа руд крупнейшего Тырнаузского месторождения вольфрама и молибдена (Северный Кавказ) – так называемых скарнированных мраморов (СМ). Установлено, что только применение вибрационного дробления для дезинтеграции контрастных вольфрамомолибденовых руд в сочетании с вибрационной классификацией по крупности позволяет достичь эффекта селективного раскрытия рудного сырья, пригодного для последующей кусковой сепарации.

10. Выполнены исследования технологических особенностей и режимных параметров вибрационной дезинтеграции металлической стружки. Получен положительный эффект от

снижения крупности продукта дробления высокоскоростного роторного дезинтегратора. Выявлена более высокая эффективность валового способа подачи материала в приемную воронку дробилки (работа «под завалом»), когда осуществляется вибрационное дробление в слое материала, что более продуктивно, чем в монослое при осуществлении дозированного питания.

11. Выполнены исследования трансформации структуры порового пространства горных пород (граниты, габбро-диабазы) при увеличении нагрузки в области упругих и пластических деформаций. В результате выполненных исследований установлены эффекты, возникающие в горных породах, имеющих различную текстуру, структуру и пористость (образцах гранита и габбро-диабазы) под воздействием нагрузки.

12. Продолжен цикл исследований по проблеме стохастического резонанса. Установлены и описаны закономерности этого резонансного явления в различных нелинейных системах. Дано физическое объяснение и математическое описание явления стохастического резонанса на основе подхода вибрационной механики. Установлено, что для возникновения этого явления не обязательно наличие случайного воздействия – достаточно гармонического воздействия.

13. Исследованы основные источники энергозатрат в вибрационных транспортно-технологических машинах, в частности, грохотах, конвейерах, питателях. В таких машинах изучены энергозатраты, необходимые для вибрационного воздействия на обрабатываемый материал и преодоления сил сопротивления в приводе. Получены формулы для оценки каждого вида энергозатрат в зависимости от параметров вибрации в режимах с подбрасыванием. Сопоставление расчетных данных с техническими характеристиками машин показывает, что, например, для ряда машин их установленные мощности могут быть существенно снижены за счет снижения или устранения пусковых затрат.

14. Аналитически исследовано движение частиц, находящихся в псевдооживленном состоянии в магнитном и электростатическом полях. Исследование выполнено применительно к расчету усовершенствованных сепараторов для обогащения тонковкрапленных руд. Отличительной особенностью этих машин является интенсивное вибрационное воздействие на исходный материал при его подаче в рабочую зону в псевдооживленном состоянии. Такие технологии позволяют существенно снизить расход воды, широко применяемой в качестве дисперсионной среды разделения в соответствующих операциях, а в отдельных случаях полностью отказаться от использования воды и перейти к сухим технологиям.

15. Начато исследование вибрационного транспортирования твердых и сыпучих тел по непоступательно вибрирующей поверхности. Обнаружено, что в зависимости от расположения вибраторов относительно центра тяжести можно получить движение материала по направлению к плоскости симметрии или в противоположном направлении. Особенности возникающих движений позволяют рассчитывать на использование результатов при создании новых вибрационных машин для сепарации природных и техногенных материалов.

16. Рассмотрена механико-математическая модель вибрационной машины с тремя степенями свободы и асинхронным электромотором в качестве привода. Схема с тремя степенями свободы позволяет относительно легко определять технологические особенности устройства на разных режимах – в частности, соотношения масс, скорости вращения магнитного поля в асинхронном двигателе и т.д. Более того, в рабочем режиме при снятии информации о фазовых координатах устройства возможно производить управление скоростью вращения магнитного поля для оптимизации технологического процесса, например, дробления конкретной руды.

17. Сконструирован, изготовлен и испытан высокоточный лабораторный прибор – устройство для измерения углов откоса сыпучих материалов; показатели значения этих углов используются при расчетах вибрационных транспортирующих и классифицирующих горных и строительных машин.

18. Сконструировано вибрационное классифицирующее устройство и проведены успешные полупромышленные испытания вибрационной технологии утилизации твердой фракции снеготопления, которые показали возможность эффективного выделения песчаной фракции для последующего рециклинга.

19. Начато промышленное использование вибрационных технологий и машин в ряде новых технологических операций.

20. В рамках проекта были также разработаны:

- исходные требования и техническое задание (далее ТЗ) на разработку опытно-промышленного электростатического сепаратора с подачей питания в режиме вибрационного псевдооживления для разделения порошковых материалов, используемых в аддитивных технологиях, а также технологический регламент для подобных операций;
- исходные требования и ТЗ на разработку опытно-промышленного винтового вибрационного классификатора для разделения металлических порошков по форме.
- ТЗ на опытно-промышленный сепаратор, работающий по принципу полиградиентной вибрационной классификации по крупности, в том числе, применительно к порошкам для аддитивных технологий и порошковой металлургии, а также оптимальные технологические режимы классификации;
- ТЗ на опытно-промышленное устройство – вибрационную конусную дробилку, позволяющую оптимизировать энергетические затраты, в частности, при селективном разрушении твёрдых кусковых материалов, а также оптимальные технологические режимы дробления.

21. В течение 2019 г. опубликовано 23 статьи в журналах, индексируемых в базах данных «Сеть науки» (Web of Science Core Collection) и «Скопус» (Scopus), 5 патентов на результаты интеллектуальной деятельности и монография.

Перечисленные исследования, являясь по сути фундаментальными, имеют, в то же время, выраженный прикладной характер, что позволит в самые кратчайшие сроки перейти к стадии ОКР.

С учётом положительного опыта НПК «Механобр-техника» в экспортных поставках высокотехнологичной продукции по собственным разработкам, все вновь создаваемые в рамках данного проекта технологии и комплексы будут также экспортно-ориентированы.

В 2019 году также продолжилась работа над проектом Российского научного фонда «Исследование технологических основ переработки различного минерального сырья, содержащего слоистые силикаты, направленным модифицированием структуры при минимизации использования воды» и были получены новые результаты.

Основными видами ресурсов, потребляемых при обогащении полезных ископаемых, являются пресная вода и энергия. В ближайшие десятилетия горнодобывающая промышленность обречена столкнуться с необходимостью снижения их потребления.

Крупным потребителем воды является обогащение, на которое приходится более 60% расходуемой воды. Прогнозируется, что к 2030 году потребность горно-обогатительных предприятий в воде возрастет на 40%. Исследование проблем снижения расхода воды в обогатительных процессах должно осуществляться совместно с оценкой энергопотребления, т.к. в рамках единой технологической схемы существует тесная взаимосвязь между потреблением воды и энергии в целом по предприятию. Чаще всего технология, обеспечивающая экономию воды, предусматривает увеличение потребления энергии и наоборот.

Наличие в добываемых рудах слоистых силикатов с подвижными кристаллическими решетками существенно осложняет их обогащение с использованием как «мокрых», так и «сухих» процессов. Перспективным направлением ресурсосбережения при обогащении руд, содержащих подобные минералы, является термическое и гидротермальное модифицирование таких руд в начале технологической цепи, обеспечивающее снижение или устранение их отрицательного воздействия на процессы рудоподготовки, сепарации, обезвоживания и складирования продуктов обогащения. Такое модифицирование требует дополнительных энергозатрат, но позволяет достичь существенной экономии других ресурсов.

1. Исследование проблем снижения расхода воды в обогатительных процессах должно осуществляться совместно с оценкой энергопотребления, т.к. в рамках единой технологической схемы существует тесная взаимосвязь между потреблением воды и энергии в целом по предприятию. Чаще всего технология, обеспечивающая экономию воды, предусматривает увеличение потребления энергии и наоборот [Арсентьев В.А., Герасимов А.М., Мезенин А.О., Устинов И.Д. (Arsentyev, V.A., Gerasimov, A.M., Mezenin, A.O., Ustinov, I.D.) Thermo- and hydrochemical modification of solid minerals containing argillaceous varieties IMPC 2018 – 29th International Mineral Processing Congress].

2. Перспективными направлениями интенсификации обогащения руд, содержащих слоистые силикаты, являются термическое и гидротермальное модифицирование таких руд в голове технологической цепи, обеспечивающее снижение или устранение их отрицательного воздействия на процессы рудоподготовки, сепарации, обезвоживания и складирования продуктов обогащения [Герасимов А.М., Арсентьев В.А., Лазарева В.В. (Gerasimov A.M., Arsenyev V.A., Lazareva V.V.) Properties and Processing of Ores Containing Layered Silicates ICAM 2019, SPEES].

3. Установлено, что термическая обработка сильвинитовой руды, содержащей глинисто-карбонатные нерастворимые минералы, в диапазоне 100-500°C практически не влияет на структуру солевых минералов галита и сильвина, но существенно изменяет структуру минералов, входящих в нерастворимую фракцию, что оказывает положительное влияние на флотацию этих руд и процесс осаждения шламовых фракций в хвостах флотации.

4. Установлены оптимальные значения параметров для процессов высокоинтенсивной сухой магнитной сепарации высокозольных углей, подвергнутых термохимическому модифицированию, основываясь на методе косвенной оценки раскрытия минеральной части угля. Параметр, косвенно характеризующий вкрапленность, является информативным для оценки богатимости малых технологических проб при малообъемном опробовании, разработке геолого-технологической классификации руд месторождений и их геолого-литологическом копировании. Условный коэффициент вкрапленности минеральных примесей N в каменных углях Воркутинского, Байдаевского и Караканского месторождений показал близкие результаты при дроблении на молотковой дробилке. Применение различного вида воздействия на уголь Караканского месторождения при дезинтеграции не изменило ситуацию с раскрытием минеральной части. Но при этом при дроблении в КИД-300 и при двухстадийном режиме в ДЦ-60×100 и ДГ-200×125 не происходит значительного переизмельчения. При дроблении полукокса на дробилке вибрационного типа воздействия (КИД-300) раскрытие сростков происходит в классах +0,315 мм, что упрощает последующие стадии обогащения [Герасимов А.М., Лазарева В.В., Самуков А.Д., Страхов В.М. (Gerasimov A.M., Lazareva V.V., Samukov A.D., Strahov V.M.) Метод оценки вкрапленности минеральной части и его применение при дезинтеграции угля Кокс и химия].

5. Воздействие на порошковую глинистую руду термообработкой (автоклавирование и СВЧ-сушка) не снижает количество глинистой составляющей, но улучшает проницаемость руды (фильтрационный расход) в рыхлом сложении в 2-3 раза. Конвективный нагрев порошковой глинистой руды при температуре 650°C в течение 10 минут способствует снижению количества глинистой составляющей в 3-5 раз, тем самым повышая проницаемость руды (фильтрационный расход) в рыхлом сложении в 40 раз [Герасимов А.М., Лазарева В.В., Арсентьев В.А. (Gerasimov A.M., Lazareva V.V., Arsenyev V.A.) Воздействие СВЧ-нагрева на свойства слоистых алюмосиликатов Обогащение руд].

6. Проведена пробоподготовка и выявлены предпочтительные параметры термомодификации пробы золотоносной руды, технологической пробы «богатой» порошковой руды месторождения Варваринское. Сформулированы технологические требования к комбинированной технологии переработке золотоносной руды с использованием термохимического модифицирования альтернативно кучному выщелачиванию. Предложены четыре технологические схемы обогащения такой золотоносной руды.

7. В течение 2019 г. по этому проекту опубликовано 3 статьи в журналах, индексируемых в базах данных «Сеть науки» (Web of Science Core Collection) и «Скопус» (Scopus). Возникло и получено исключительные право на результаты интеллектуальной деятельности.

В 2019 г. также начата работа по проекту РФ «Научные основы и оценка технологической и экологической эффективности комплексной переработки твердых коммунальных отходов», по результатам которой опубликована статья Л.А. Вайсберга, Н.В. Михайловой и А.В. Ясинской «Тенденции развития отрасли обезвреживания ТКО в западной Европе» в журнале «Экология и промышленность России» индексируемом в базе данных scopus.

## **2. Защита интеллектуальной собственности**

В 2019 году в НПК «Механобр-техника» получено 6 патентов: 5 патентов на полезную модель и 1 на изобретение; подано 6 заявок на изобретения и полезные модели.

В настоящее время поддерживается в силе 42 патента: 23 на изобретения, 17 на полезные модели, 2 на промышленные образцы и 4 свидетельства на товарные знаки.

### 3. Участие в совещаниях и конференциях

В 2019 г. сотрудники корпорации принимали участие в различных конференциях и совещаниях.

1. III общероссийский форум «Экотехнопарки России», Москва, Торгово-промышленная палата Российской Федерации, 12-14 февраля 2019 г., Евразийская бизнес-конференция «Перспективы развития отрасли по переработке ОЭЭО в России и СНГ».

Черкасова М.В. «Современные технологии переработки отходов электронного и электротехнического оборудования», <http://weeeconference.ru/>.

2. Вайсберг Л.А. – модератор лекции Татьяны Черниговской «Личность в цифровую эпоху». 26 февраля 2019 г. в 17:00 в НИТУ «МИСиС» в рамках проекта «Бесконечная наука». <http://misis.ru/university/events/lectures/2019-02/1714/>

3. XIX Международная конференция «Экология большого города» 20-22 марта 2019 года, Санкт-Петербург, Экспофорум <https://ecology.expoforum.ru/>

Вайсберг Л.А., Михайлова Н.В. Обезвреживание твердых коммунальных отходов. В поисках перспективных решений.

4. V Международная конференция «Аддитивные технологии: настоящее и будущее», ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ, Москва, ул. Радио, д. 17, 22 марта 2019 года. <https://conf.viam.ru/conf/297>

Дмитриев С.В., Мезенин А.О., Черкасова М.В. Современные технологии кондиционирования металлических порошков.

Самуков А.Д., Черкасова М.В., Дмитриев С.В. Исследование процесса дезинтеграции металлической стружки для получения порошков для аддитивных технологий.

5. Симпозиум в рамках реализации международной инициативы «Один пояс, один путь», Китай, г. Пекин, BGRIMM, май 2019.

Дмитриев С.В. «Vibratory Technologies in the Production of Metal Powders for Additive Manufacture and Powder Metallurgy».

6. XV Международная конференция по открытой и подводной добыче полезных ископаемых, 03 – 07 июня 2019 г. Отель Астор Гарден, к.к. “Св. Св. Константин и Елена” г. Варна, Болгария (<http://openmineconf-mdgm.org>).

Вайсберг Л.А., Коровников А.Н. Вибрационные технологии и оборудование для модернизации рудоподготовительных отделений обогатительных фабрик.

7. Конференция Vibroengineering 2019. 25–26 июня 2019 г., Санкт-Петербург, ЛЭТИ. <https://www.jveconferences.com/conference/PETERSBURG-2019>

Вайсберг Л.А. Научные достижения школы Механобра в области вибрационных технологий и их практическая реализация (Vibrational Technology Research Highlights of the Mekhanobr Science and Research School).

Черкасова М.В., Самуков А.Д., Дмитриев С.В. Вибрационные технологии получения металлических порошков (Vibration Technologies for Producing Metal Powders).

Мезенин А.О., Дмитриев С.В., Черкасова М.В. Современные технологии кондиционирования металлических порошков с применением вибрационных эффектов (Vibration Effects in Conditioning of Metal Powders).

Самуков А.Д., Черкасова М.В. Вибрационные технологии рециклинга отходов добычи и переработки нерудного сырья (Vibration Recycling Technologies for Mining and Mineral Processing Waste for Construction Purposes, 20778).

Морозов П.Д. Математическая модель вибрационной конусной дробилки с тремя степенями свободы. (Mathematical Model of the Vibration Cone Crusher with Three Degrees of Freedom, 20790).

Герасимов А.М., Лазарева В. Поведение коллоидных систем газ-жидкость при вибрационных воздействиях (Vibration Effects on Colloidal Gas-Liquid Systems, 20779).

Блехман И.И., Васильков В.Б., Семёнов Ю.А. О вибрационном транспортировании тел по поверхности, совершающей поворотные колебания (On the Vibrotransportation of the Material on the Surface, Performing Rotary Oscillations, 20745).

Казаков С.В., Шишкин Е.В. Использование вибрационных воздействий при переработке твердых материалов (Vibrational Dynamic System for the Reduction of Solid Materials, 20808).



8. International Summer School-Conference “Advanced Problems in Mechanics”. June 24-29, 2019, St. Petersburg, Russia. <http://www.apm-conf.spb.ru/>.  
Вайсберг Л.А. Научные достижения школы Механобра в области вибрационных технологий и их реализация в промышленности (Vibration technology research achievements of the Mekhanobr scientific school and their industrial applications).
9. 14-я Международная конференция по вопросам вибрации, о. Крит, Греция, с 1 по 4 сентября 2019 (**International Conference on Vibration Problems (ICOVP 2019)**) (<http://icovp2019.org/>).  
Вайсберг Л.А. Пленарная лекция. Исследования научной школы Механобра в области вибрационных технологий.  
Блехман И.И., Блехман Л.И., Вайсберг Л.А., Васильков В.Б. Полупленарная лекция. Энергетика вибрационных транспортно-технологических систем.  
Вайсберг Л.А. – руководитель Минисимпозиума «Вибрационные эффекты в природе и технологиях» («Vibration Effects in Nature and Technology»):  
Кремеп Е.Б. The stationary state of the granular material under the action of intense vibration and gravity.  
Демидов И.В. Вибрационная подача материала в рабочую зону магнитного сепаратора. Vibratory material feed into magnetic separator operating area.
10. Международное совещание «Проблемы и перспективы эффективной переработки минерального сырья в 21 веке» (Плаксинские чтения – 2019), 9-14 сентября 2019 г., г. Иркутск, Иркутский национальный исследовательский технический университет. <http://plaksin.ipkonran.ru>.  
Вайсберг Л.А., Коровников А.Н. Новые технологии и машины для вибрационной классификации сыпучих материалов по крупности.  
Мезенин А.О., Дмитриев, С.В., Черкасова М.В. Электрическая сепарация в практике переработки минерального и техногенного сырья.  
Герасимов А.М., Лазарева В.В. Применение косвенного метода оценки раскрытия минеральной части угля при его дезинтеграции (Indirect method of assessing the mineral part of coal liberate during its disintegration).
11. XIV Международный конгресс по прикладной минералогии, г. Белгород, 23-27 сентября 2019 года, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова ([www.geo.komisc.ru/2019](http://www.geo.komisc.ru/2019)).  
Вайсберг Л.А., Кононов О.В., Устинов И.Д. «Технологическая минералогия как основа развития рудоподготовки молибдошеелитовых руд».  
Герасимов А.М., Котова Е.Л., Устинов И.Д. «Прикладная минералогия антропогенных аксессуарных минералов».  
Вайсберг Л.А., Каменева Е.Е. «Рентгеновская компьютерная микротомография в решении прикладных задач переработки горных пород».  
Арсентьев В.А., Герасимов А.М., Лазарева В.В. «Свойства и обогащение руд, содержащих слоистые силикаты».
12. XV российско-китайском симпозиум «Новые материалы и технологии», г. Сочи, 16-19 октября 2019 г., <https://www.amp2019.net/>.  
Михайлова Н.В., Мезенин А.О. «The technology of production of high-quality powders for additive manufacturing» («Технология производства высококачественных порошковых материалов для аддитивных технологий и металлургии»).
13. Всероссийская школа-конференция с международным участием «Аддитивные технологии в цифровом производстве. Металлы, сплавы, композиты». Москва, НИТУ МИСиС, 2-4 октября 2019 г.  
М. Черкасова «Исследования и разработки НИК «Механобр-техника» в области аддитивных технологий».
14. XIX Международный конгресс по обогащению угля (ICPC – 2019), г. Нью-Дели, (Индия) 13 – 15 ноября 2019 г. <http://www.icpc2019.in/>.  
Andrei Gerasimov, Vasiliy Arsenyev, Victoria Lazareva, Ivan Ustinov. Quality control of beneficiation products of termo-modified high-ash coal.

Leonid Vaisberg, Victoria Lazareva, Andrei Gerasimov. Dry vibration screening of coal and semicoke.

15. IX Международная конференция «Горнодобывающая промышленность Баренцева Евро-Арктического региона: взгляд в будущее» – «Устойчивое развитие горно-промышленного комплекса Арктики на основе стратегического партнёрства» – «МГПК БЕАР 2019», г. Кировск, 14-15 ноября 2019 г., <http://conference.ncci.ru/>.

Коровников А.Н. «Опыт совершенствования технологии рудоподготовки на АНОФ-3 с применением грохотов ГСТ-72МТ».

16. XV российско-китайский симпозиум «Новые материалы и технологии», г. Сочи, октябрь 2019, <https://www.amp2019.net/>.

Мезенин А.О. «The technology of production of high-quality powders for additive manufacturing».

17. 12-я Российско-Германская сырьевая конференция 27-29 ноября 2019 г., г. Санкт-Петербург. Форум "День молодых ученых".

Михайлова Н.В. Мастер-класс для молодых ученых и специалистов "Отходы: как спастись от них человечеству".

18. 2-я Конференция по практическому применению аддитивных технологий в различных сферах производства «3D КонЦентрАТ», АО «Центр аддитивных технологий», г. Воронеж, 03 декабря 2019 г., <http://3d-made.wixsite.com/3d-at>

19. М. Черкасова. Исследования и разработки НИК «Механобр-техника» в области аддитивных технологий.

### Публикации

В 2019 г. получены новые научные знания и результаты, которые отражены в следующих публикациях в изданиях, преимущественно входящих в базу данных Scopus и W.O.S.

Авторы, название	Издание
1. И.Блехман, Е.Креммер. Stochastic resonance as the averaged response to random broadband excitation and its possible applications	В журнале SAGE Publishing and Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, <i>Scopus, Q2</i> <a href="https://doi.org/10.1177/0954406219842283">https://doi.org/10.1177/0954406219842283</a>
2. И.И. Блехман, Л.И. Блехман, Л.А. Вайсберг, В.Б. Васильков. Энергозатраты в вибрационных транспортно-технологических машинах	Обогащение руд, №1, 2019, с. 18-27 <i>DOI: 10.17580/or.2019.01.03</i> <i>Scopus, Q2</i>
3. L.A. Vaisberg, S.V. Kazakov, E.V. Shishkin. Vibrational disintegration of solid materials in quasiresonant modes	Congress Proceedings. IMPC-2018-29 International Mineral Processing Congress. 2019, pages 297-305, <i>Scopus</i>
4. L.A. Vaisberg. Generalized theory of vibratory separation of granular materials.	Congress Proceedings. IMPC-2018-29 International Mineral Processing Congress. 2019, pages 384-389, <i>Scopus</i>
5. V.A. Arsentyev, A.M. Gerasimov, A.O. Mezenin, I.D. Ustinov. Hydro- and thermochemical modification of ores containing argillaceous varieties	Congress Proceedings. IMPC-2018-29 International Mineral Processing Congress. 2019, pages 383-393, <i>Scopus</i>
6. Устинов И.Д. Вибрационная технология рециклинга минеральной части отходов снегоплавления	Обогащение руд. 2019. № 2, с. 45-48 <i>Scopus, Q2</i> <i>DOI:10.17580/or.2019.02.081</i>
7. Л.А. Вайсберг, Е.Е. Каменева Исследование изменения структуры пористости горных пород на разных этапах нагружения	Обогащение руд. 2019. № 3, с. 37-42 <i>Scopus, Q2</i> <i>DOI: 10.17580/or.2019.03.06</i>
8. И.В. Демидов, Л.А. Вайсберг, И.И. Блехман. Vibrational dynamics of paramagnetic particles and processes of separation of granular materials	International Journal of Engineering Science <b>141 (2019) 141–156, Scopus u Web of Science, Q1, doi.org/10.1016/j.ijengsci.2019.05.002</b>
9. V.A. Bratov, A.M. Krivtsov. Analysis of energy required for initiation of inclined crack under uniaxial compression and mixed loading	Engineering Fracture Mechanics 216 (2019) 106518 <i>doi.org/10.1016/j.engfracmech.2019.106518</i>

Оптимизация энергии разрушения материала с наклоненной трещиной при одноосном сжатии и смешанном нагружении	<i>Scopus, Q1</i> Инженерная механика разрушения
10. Р.Л. Лапин, В.А. Кузькин. Вычисление нормальной и сдвиговой податливостей трещины с учетом контакта между берегами R.L. Lapin, V.A. Kuzkin, Calculation of the normal and shear compliances of a three-dimensional crack taking into account the contact between the crack surfaces	Письма о материалах <i>Scopus, Q3</i>  Letters on Materials 9 (2), 2019 pp. 234-238 www.lettersonmaterials.com DOI: 10.22226/2410-3535-2019-2-234-238
11. Leonid Vaisberg. Vibrational Technology Research Highlights of the Mekhanobr Scientific School and their practical implementation	Vibroengineering PROCEDIA, June 2019, Volume 25, p.76-82, <i>Scopus</i> , DOI <a href="https://doi.org/10.21595/vp.2019.20820">https://doi.org/10.21595/vp.2019.20820</a>
12. Margarita Cherkasova, Alexandr Samukov, Sergey Dmitriev. Vibration Technologies for Producing Metal Powders	Vibroengineering PROCEDIA, June 2019, Volume 25, p. 208-213, <i>Scopus</i> , DOI <a href="https://doi.org/10.21595/vp.2019.20757">https://doi.org/10.21595/vp.2019.20757</a>
13. Anton Mezenin, Sergey Dmitriev, Margarita Cherkasova. Vibration Effects in Conditioning of Metal Powders	Vibroengineering PROCEDIA, June 2019, Volume 25, p.36-41, <i>Scopus</i> , DOI <a href="https://doi.org/10.21595/vp.2019.20782">https://doi.org/10.21595/vp.2019.20782</a>
14. Alexandr Samukov, Margarita Cherkasova. Vibration Recycling Technologies for Mining and Mineral Processing Waste for Construction Purposes	Vibroengineering PROCEDIA, June 2019, Volume 25, p. 26-31, <i>Scopus</i> , DOI <a href="https://doi.org/10.21595/vp.2019.20778">https://doi.org/10.21595/vp.2019.20778</a>
15. Petr Morozov, Serge Miheev Mathematical Model of the Vibration Cone Crusher with Three Degrees of Freedom	Vibroengineering PROCEDIA, June 2019, Volume 25, p.42-47, <i>Scopus</i> , DOI <a href="https://doi.org/10.21595/vp.2019.20790">https://doi.org/10.21595/vp.2019.20790</a>
16. Andrei Gerasimov, Victoria Lazareva. Vibration Effects on Colloidal Gas-Liquid Systems	Vibroengineering PROCEDIA, June 2019, Volume 25, p. 32-37, <i>Scopus</i> , DOI <a href="https://doi.org/10.21595/vp.2019.20779">https://doi.org/10.21595/vp.2019.20779</a>
17. I.I. Blekhman, V.B. Vasilkov, Yu.A. Semenov. On the Vibrotransportation of the Material on the Surface, Performing Rotary Oscillations	Vibroengineering PROCEDIA, June 2019, Volume 25, p.13-19, <i>Scopus</i> , DOI <a href="https://doi.org/10.21595/vp.2019.20745">https://doi.org/10.21595/vp.2019.20745</a>
18. Sergey Kazakov. Evgeniy Shishkin, Vibrational Dynamic System for the Reduction of Solid Materials	June 2019, Volume 25, Vibroengineering PROCEDIA, p. 65-69, <i>Scopus</i> , DOI <a href="https://doi.org/10.21595/vp.2019.20808">https://doi.org/10.21595/vp.2019.20808</a>
19. Л.А. Вайсберг, И.Н. Никонов, А.Н. Сафронов. Исследование технологии вибрационной переработки отсевов шунгитовой породы как основы получения перспективного сорбента микотоксинов для птицеводства	Экология и промышленность России, №7, с. 10-14, <i>Scopus</i> , Q3 DOI: 10.18412/1816-0395-2019-07-10-14
20. Л.А. Вайсберг, А.Н. Сафронов. Инновационное дробильно-измельчительное оборудование вибрационного действия	Экология и промышленность России, №7 с. 4-9, <i>Scopus</i> , Q3 DOI: 10.18412/1816-0395-2019-07-4-9
21. Михайлова Н.В., Ясинская А.В. Прогнозирование образования твердых коммунальных отходов в крупных городах	Экология и промышленность России, №7, с. 20-25, <i>Scopus</i> , Q3 DOI: 10.18412/1816-0395-2019-07-20-25
22. А.Д. Самуков. Комплексная переработка отходов щебеночных производств	Экология и промышленность России, №7, с.15-19, <i>Scopus</i> , Q3 DOI: 10.18412/1816-0395-2019-07-15-19
23. А.М. Gerasimov, Е.Л. Kotova, I.D. Ustinov. Applied mineralogy of anthropogenic accessory minerals	Springer Proceedings in EarthSpringer Proceedings in Environmental Sciences I 14th International Congress for Applied Mineralogy (ICAM2019))

	Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov, 23–27 September 2019, Belgorod, Russia, p.p. 70-74 <a href="https://doi.org/10.1007/978-3-030-22974-0_16">https://doi.org/10.1007/978-3-030-22974-0_16</a> <i>Scopus u Web of Science</i>
24. L.A. Vaisberg, E.E. Kameneva. Microtomographic study of gabbro-diabase structural transformations under compressive loads	Springer Proceedings in EarthSpringer Proceedings in Environmental Sciences I 14th International Congress for Applied Mineralogy (ICAM2019)) Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov, 23–27 September 2019, Belgorod, Russia, p. 146-151 <a href="https://doi.org/10.1007/978-3-030-22974-0_35">https://doi.org/10.1007/978-3-030-22974-0_35</a> <i>Scopus u Web of Science</i>
25. L.A. Vaisberg, O.V. Kononov, I.D. Ustinov Process mineralogy as a basis of molybdoscheelite ore preparation	Springer Proceedings in EarthSpringer Proceedings in Environmental Sciences I 14th International Congress for Applied Mineralogy (ICAM2019)) Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov, 23–27 September 2019, Belgorod, Russia, p. 152-156 <a href="https://doi.org/10.1007/978-3-030-22974-0_36">https://doi.org/10.1007/978-3-030-22974-0_36</a> <i>Scopus u Web of Science</i>
26. A.M. Gerasimov, V.A. Arsentyev, V.V. Lazareva. Properties and processing of ores containing layered silicates	Springer Proceedings in EarthSpringer Proceedings in Environmental Sciences I 14th International Congress for Applied Mineralogy (ICAM2019) Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov, 23–27 September 2019, Belgorod, Russia, p. 66-69, ISSN 2524-342X ISSN 2524-3438 (electronic), Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences, ISBN 978-3-030-22973-3 ISBN 978-3-030-22974-0 (eBook) <a href="https://doi.org/10.1007/978-3-030-22974-0_15">https://doi.org/10.1007/978-3-030-22974-0_15</a> © The Editor(s) (if applicable) and The Author(s) <i>Scopus u Web of Science</i>
27. Вайсберг Л.А., Коровников А.Н. Новые технологии и машины для вибрационной классификации сыпучих материалов по крупности	«Проблемы и перспективы эффективной переработки минерального сырья в 21 веке» (Плаксинские чтения 2019), г. Иркутск, 9-14 сентября 2019 г. Материалы международной конференции, 467 с., ISBN 978-5-00133-149-0, с. 17-24
28. Герасимов А.М., Лазарева В.В. Применение косвенного метода оценки раскрытия минеральной части угля при его дезинтеграции	«Проблемы и перспективы эффективной переработки минерального сырья в 21 веке» (Плаксинские чтения 2019), г. Иркутск, 9-14 сентября 2019 г. Материалы международной конференции, 467 с., ISBN 978-5-00133-149-0, с. 83-85
29. Мезенин А.О., Дмитриев, С.В., Черкасова М.В. Электрическая сепарация в практике переработки минерального и техногенного сырья	«Проблемы и перспективы эффективной переработки минерального сырья в 21 веке» (Плаксинские чтения 2019), г. Иркутск, 9-14 сентября 2019 г. Материалы международной конференции, 467с., ISBN 978-5-00133-149-0, с. 445-446
30. Ruslan L. Lapin, Nikita D. Muschak, Vadim A. Tsaplin, Vitaly A. Kuzkin, Anton M. Krivtsov. Es-	State of the Art and Future Trends in Material Modeling, Editors: Altenbach, Holm, Öchsner,

timation of Energy of Fracture Initiation in Brittle Materials with Cracks	Andreas (Eds.) Pages 173-182, <i>Scopus</i>
31. Герасимов А.М., Лазарева В.В., Арсентьев В.А., Особенности воздействия СВЧ-нагрева на свойства слоистых материалов	Обогащение руд. 2019. № 6, с.15-19 <i>Scopus</i>
32. Л.А. Вайсберг, Н.В. Михайлова, А.В. Ясинская «Тенденции развития отрасли обезвреживания ТКО в Западной Европе	Экология и промышленность России, №12, с. 41-47 DOI: 10.18412/1816-0395-2019-12-41-47 <i>Scopus</i>
33. Л.А. Вайсберг, И.Д. Устинов. Феноменология вибрационной классификации и усреднения по крупности гранулярных материалов	Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки, № 2, с.181-189
34. Л.А. Вайсберг, И.Д. Устинов. Введение в технологию разделения минералов (монография)	Санкт-Петербург: Русская коллекция, 2019.- 168 с.: ил., табл. ISBN 978-5 00067-087-3

В 2019 году Научно-производственная корпорация «Механобр-техника» выполнила комплекс научно-исследовательских работ, направленных на ресурсо- и энергосбережение в горно-перерабатывающей промышленности, развитие технологии переработки различных материалов и аддитивных технологий. Все выполненные работы, как и предшествующая деятельность НПК «Механобр-техника», лежат в русле сквозного технологического коридора – от генерации научных идей и формулирования принципиальных научно-технических решений до их широкой практической реализации на рынке. Исследования проводились в тесном сотрудничестве с организациями РАН и высшими учебными заведениями. Указанные работы сопровождались интенсивной работой по подготовке инновационно-ориентированных научных и инженерных кадров в Научно-образовательном центре компании, который является важным элементом ведущей научной школы «Обогащение полезных ископаемых».

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

Направления научных исследований, выполняемых институтом «Якутнипроалмаз» АК «АЛРОСА» (ПАО) тесно связаны с задачами и нуждами производства, важнейшими из которых являются:

- поддержание сырьевой базы;
- обеспечение эффективной добычи алмазной продукции.

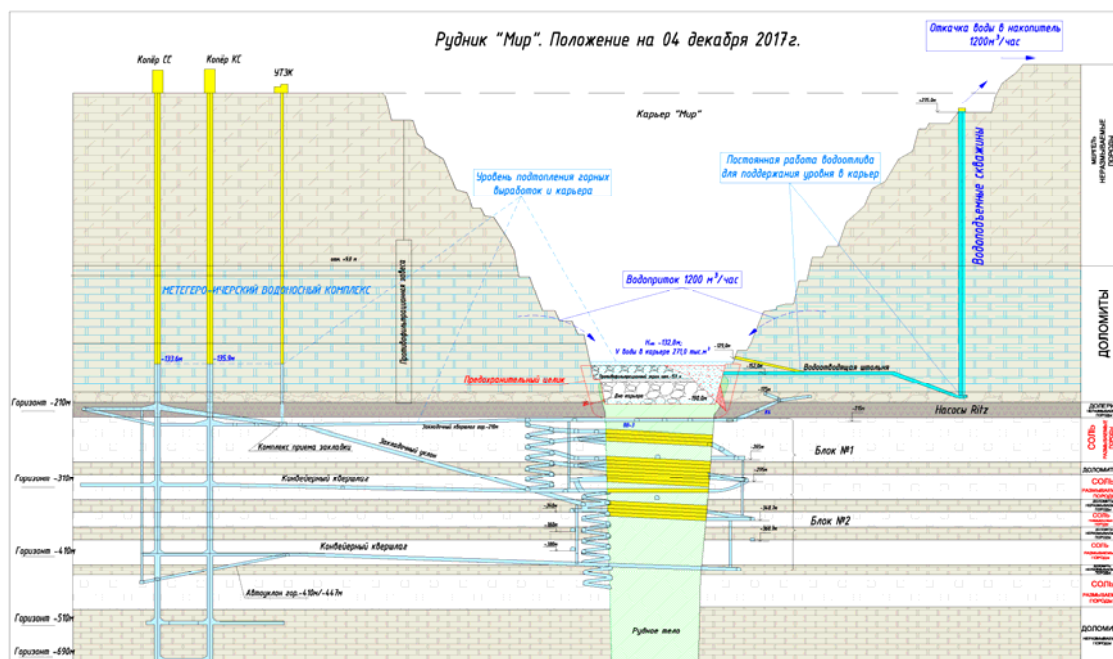
В 2019 г. выполнено 34 технологических работы и оказано 131 инженерно-технических услуг, имеющих существенное значение для эффективного развития технологий горно-обогатительного производства. К наиболее значимым работам относятся работы по совершенствованию технологии добычи алмазосодержащих руд, обеспечивающих снижение энергозатрат и эксплуатационных расходов.

### **Обоснование технических решений по реконструкции карьера «Мир» для сооружения внутрикарьерного водоотлива** (руководитель работы к.т.н. Акишев А.Н.)

На месторождении трубки Мир 04.08.2017 произошел неконтролируемый прорыв рассолов метегеро-ичерского водоносного комплекса (МИВК) в горные выработки подземного рудника. Выработки рудника под рудным целиком (отм. -210 м) полностью затоплены (рисунок 1).

При оценке условий возврата к подземной отработке месторождения трубки Мир необходимо решить проблему защиты подземных горных работ от залегающего над добычными горизонтами метегеро-ичерского водоносного комплекса (МИВК), полностью вскрытого предшествующими открытыми горными работами и представляющего основную опасность ведения горных работ ввиду значительных водопритоков в карьер (более 1200 м<sup>3</sup>/час с учетом обратной закачки).





**Рисунок 1 – Общая геотехнологическая ситуация на момент аварии на подземном руднике «Мир»**

В качестве варианта водоотведения принят вариант открытого постоянно действующего внутрикарьерного водоотлива сооружаемого ниже подошвы 8-го основного коллектора МИВК с созданием ниже этой отметки дополнительного фильтрационного сопротивления из глинистых осыпей. Комплекс должен обеспечить сбор и удаления всего объема воды, поступающего в выработанное пространство карьера. Для его реализации потребуется произвести полную реконструкцию карьера «Мир» с формированием на дне карьера комплекса водоулавливающих сооружений и станции внутрикарьерного водоотлива.

Размеры рабочей зоны карьера после реконструкции карьера и поддержания карьерного водоотлива при благоприятной горнотехнической ситуации позволяют считать возможным доработку запасов открытым способом в отм. -230 ÷ -140 м (рисунок 2).

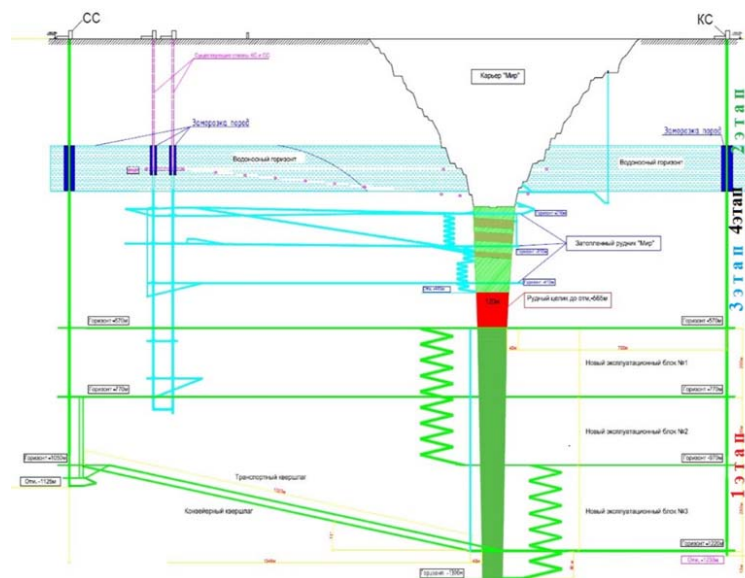
**1 этап.** Строительство подземного рудника и отработку запасов в отм. -565/-1300 м. Срок реализации – 2022-2048 гг.

**2 этап.** Реконструкцию карьера до гор. -140 м с удалением из чаши карьера рассолов МИВК и строительством на дне реконструируемого карьера открытого карьерного водоотлива. Срок реализации – 2031-2042 гг.

**3 этап.** Подземная отработка запасов в отм. -565/-310 м под защитой карьерного водоотлива. Срок реализации – 2048-2063 гг.

**4 этап.** Отработка карьером запасов в отм. -140 ÷ -230 м. Срок реализации – 2063-2066 гг.

Основным гидрогеологическим объектом, осложняющим горнотехнические условия отработки кимберлитовой трубки Мир, является метеоро-ишерский



**Рисунок 2 – Концепция отработки месторождения трубки Мир**

водоносный комплекс (МИВК), имеющий повсеместное распространение и залегающий под толщей многолетнемерзлых пород, которые являются верхним водоупором.

Нижняя граница многолетнемерзлых пород приурочена к мирнинской свите и соответствует в районе трубки Мир абсолютным отметкам -5 – +20 м. В целом отмечается общее пологое погружение кровли комплекса с юго-запада на северо-запад и северо-восток.

Нижним водоупором служат долериты и нижележащие соленосные породы чарской свиты, находящиеся в районе месторождения Мир на абсолютных отметках -140 – -160 м. Общая мощность водоносного комплекса составляет 150-180 м. Водовмещающими породами являются трещиноватые и кавернозные известняки и доломиты, представляющие собой пласты-коллекторы, с прослоями менее проницаемых гипсо-ангидритов. Суммарная эффективная мощность коллекторов колеблется от 50 до 78 м.

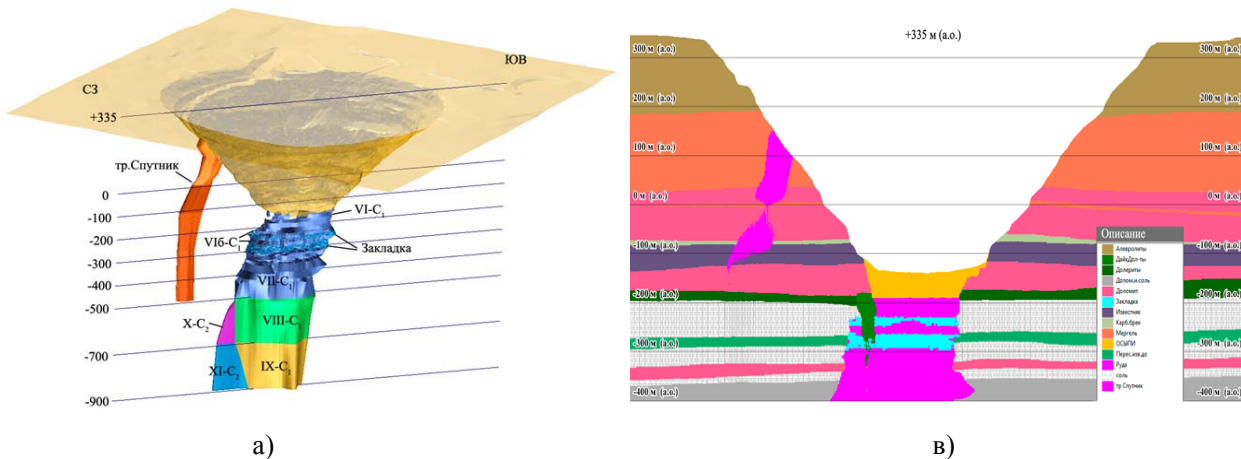
В водоносном комплексе выделено 9 коллекторов, отличающихся друг от друга фильтрационными параметрами. Хорошо проницаемые породы (коллектора), приуроченные к карбонатным трещиновато-пористым породам, разделены относительно слабопроницаемыми слоями.

Наиболее водообильным является 8-й коллектор общей мощностью порядка 40-45 м. В районе трубки Мир он залегает в абсолютных отметках -80 (-128) м.

Пьезометрическая поверхность метеоро-ичерского водоносного комплекса за период отработки месторождения трубки Мир претерпела существенные изменения: сформирована сложная пьезометрическая поверхность с четко выраженной репрессивной воронкой от обратной закачки рассолов и депрессионной воронкой от водопонижения в карьере, которые в свою очередь наложены на региональную депрессионную воронку, периферийные области которой практически восстановились.

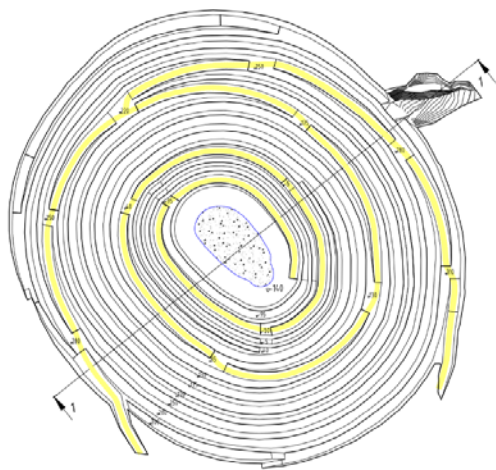
Таким образом, в связи с карьерным водоотливом и обратной закачкой рассолов в пласт имеет место сложное взаимоотношение депрессии и репрессии, приведшее к снижению уровня в центре депрессии до 340 м и подъему его в районе участка закачки более чем на 100 м, по отношению к статическому положению.

На рисунке 3 приведена каркасная (а) и блочная (в) модель рудного тела, созданные в соответствии с геологическим строением месторождения. Верхняя граница созданной модели ограничена каркасом дна карьера по состоянию на 01.01.2001, нижняя – глубиной разведанных запасов 1235 м (до абс. отм. -900 м). В построении использовались данные эксплуатации, выгруженные на файловый сервер единой интегрированной горно-геологической информационной системы (ЕИГИС) и детальной разведки (1977-1981 гг.).

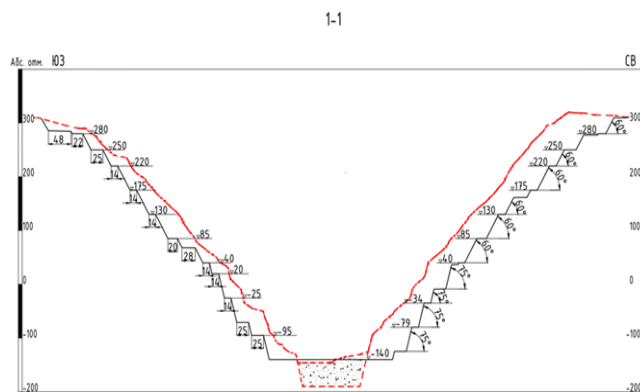


**Рисунок 3 – Каркасная (а) и блочная (в) модель тр. Мир с карьером на август 2017 г.**

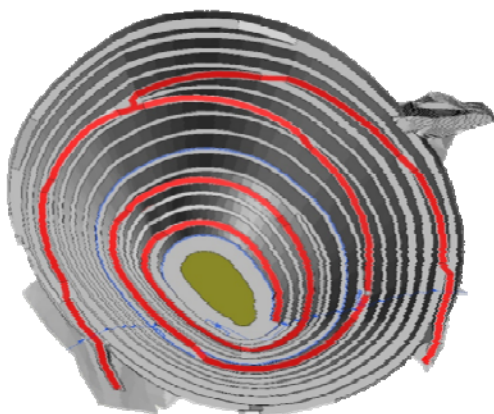
Вскрытие карьера предлагается выполнить двумя капитальными траншеями, предназначенными для транспортировки вскрыши на отвал вскрышных пород, расположенный в юго-восточной части отработанной россыпи месторождения ВГ. Высота борта составляет от 449 до 481 м, генеральный угол наклона борта находится в пределах 43-44 град. По всем рассматриваемым поверхностям скольжения при заданных физико-механических характеристиках борт устойчив. Нижние уступы обводненного борта устойчивы при стоянии менее 5 лет и поэтому требуют укрепления или водопонижения в районе Параллельного разлома (рисунок 4).



а)



в)



с)



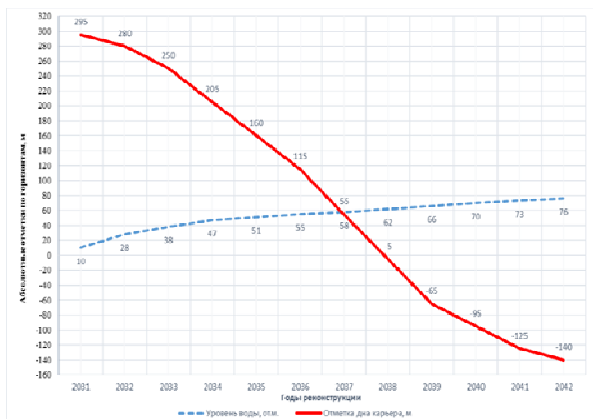
д)

**Рисунок 4 – Схема вскрытия карьера (а), поперечный разрез (в), общий вид реконструируемого карьера (с) и искусственное укрепление уступов с применением буровой установки MORATH BW100 (д)**

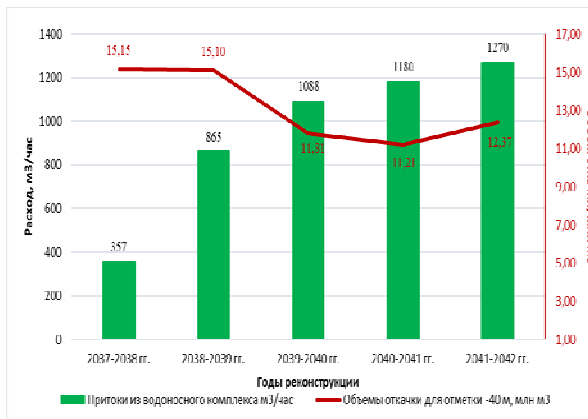
Реконструкцию карьера предусмотрено выполнить в течение 12 лет с 2031 по 2042 гг. со среднегодовой скоростью понижения горных работ 40 м/год. Общий объем взрывного сброса породы составляет 6,4 млн. м<sup>3</sup>. С учетом требований по безопасности ведения работ рекомендуется подготовку горной массы к выемке при отработке верхних горизонтов карьера вести комбинированным способом. До гор. +340 м поверхностный слой горных пород на глубину около 5 м отрабатывается с помощью механического способа рыхления с последующим окучиванием для погрузки в автосамосвалы. Следующим этапом отработки уступа планируется создание экранирующей щели способом взрывания контурного ряда скважин. При этом бурение скважин возможно станками с функцией бурения «под себя» или буровыми станками шарошечного бурения с вышележащего поверхностного горизонта карьера. Оставшийся слой до гор. +280 м, представленный полускальными породами, будет отработан с помощью буровзрывных работ с щадящими параметрами по способу так называемого тихого взрыва.

Сделан вывод о значительном снижении нагрузки на экологию района при применении эмульсионных ВВ. Требуемая производительность завода эмульсионных ВВ составляет 10 тыс. т чистой эмульсии в год.

На рисунке 5(а) представлена динамика понижения отметок реконструкции карьера «Мир» и роста уровня воды с отметки -40 м абс. при остановке насосов РИТЦ», на рисунке 5(в) приведены прогнозные оценки объемов и среднегодовых расходов откачек рассолов из карьера при понижении горных работ до конечной отметки реконструкции карьера -140 м абс. с разделением расходов откачки свободной воды из емкости карьера и притока дренажных рассолов МИВК разделением расходов откачки.



а)



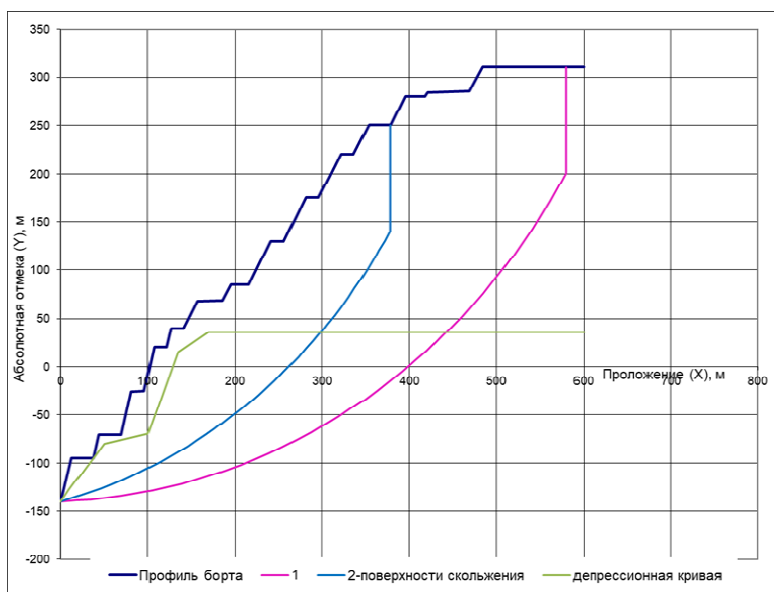
в)

**Рисунок 5 – Динамика понижения отметок реконструкции карьера «Мир» и роста уровня воды с отметки -40 м абс. при остановке насосов РИТЦ (а) и прогнозные оценки объемов и среднегодовых расходов откачек рассолов из карьера и притока дренажных рассолов МИВК разделением расходов откачки(в)**

Определение параметров уступов и берм необходимо производить с учетом всех видов возможных деформаций и за окончательные принимать значения с прогнозным минимумом отрицательных последствий или эти принятые значения должны обеспечить на конец отработки месторождения наиболее вероятную сохранность необходимой ширины берм. Предлагается сначала определять параметры из условия обеспечения нормативной устойчивости нерабочего уступа, затем уточнять их, исходя из склонности пород к осыпанию и обрушению.

Критерии, по которым определяются параметры уступов и берм следующие – кроме обеспечения максимального коэффициента запаса устойчивости уступа необходимо производить оценку максимальной ширины берм как на момент формирования, так и прогнозирование максимальной сохранности на конец отработки; принимаемые параметры должны обеспечивать высокую технологичность горных работ.

Естественно, что невозможно математически точно спрогнозировать те или иные параметры нерабочего борта карьера, так как в горном деле не может быть заранее получена абсолютно достоверная информация о состоянии горного массива в любой его точке.



**Рисунок 6 – Расчетные схемы оценки устойчивости**

Оценка геомеханической устойчивости откосов проводится путём сравнения расчётных коэффициентов запаса устойчивости ( $K_{зу}$ ) откосов и допустимых ( $K_{д}$ ). Для оценки  $K_{зу}$  необходимо знание для слагающих борт пород, следующих ФМС: объёмный вес, угол внутреннего трения, сцепление в образце и коэффициент структурного ослабления в массиве.  $K_{д}$  определяется статистической погрешностью ФМС, параметром надёжности устойчивости и нормативными параметрами.

Расчёты  $K_{зу}$  борта проводились по V схеме ВНИИ для плоского в плане обвод-



ненного борта методом алгебраического сложения сил. Кривизна борта учитывалась путём введения поправки к углу борта на зажатость. Примеры расчетных поверхностей скольжения (ПК) приведены на рисунке 6.

На основе проведенного математического моделирования дана оценка геомеханической безопасности земной поверхности и сооружений на технологических площадках рудника «Мир» с учетом графика водопонижения подземных вод и схемы ведения подземных горных работ.

Установлена граница опасной зоны, в пределах которой могут возникнуть критические деформации земной поверхности. Эта зона с учетом бермы безопасности, равной 50 м, распространяется до 200 м по нормали от кромки карьера.

Величина деформаций земной поверхности на западном, восточном и южном бортах удовлетворяют критериям, принятым для определения границы зоны опасного влияния и углов движения – оценки  $\varepsilon = 2 * 10^{-3}$ , наклон  $i = 4 * 10^{-3}$ . Граница общей зоны влияния определяется следующими деформациями:  $\varepsilon = 0,5 * 10^{-3}$ , наклон  $i = 0,5 * 10^{-3}$ , оседание земной поверхности 15 мм.

Полные деформации на северном борту за период с 2000 года не удовлетворяют критериям оценки по определению углов сдвига  $2 * 10^{-3}$ , наклон  $4 * 10^{-3}$ , что связано с расположением репера 9 в непосредственной близости к границе карьера. Однако за последние 4 года фактические смещения репера 9-1, расположенного на расстоянии 50 м от бровки карьера, за последние 4 года фактические смещения станции составили 12 мм в плане и 23 мм по вертикали и имеют тенденцию к затуханию, что позволяет предположить о процессе окончания процесса движения. Для более точной оценки сдвига была произведена закладка дополнительных реперов.

На основе анализа маркшейдерских измерений, за фактическую границу зоны сдвига можно принять величину 100 м, кроме западного борта – 180 м (более точную оценку не позволяет произвести расположение реперов).

Было выполнено моделирование напряженно-деформируемого состояния (НДС) горного массива по мере развития горных работ (разноске карьера). Прогнозная оценка НДС определялась с помощью численного моделирования с применением программного обеспечения Phase 2 методом конечных элементов. Результаты расчетов – величины перемещений, с использованием программного обеспечения Phase 2, приведены на рисунке 7 и 8.

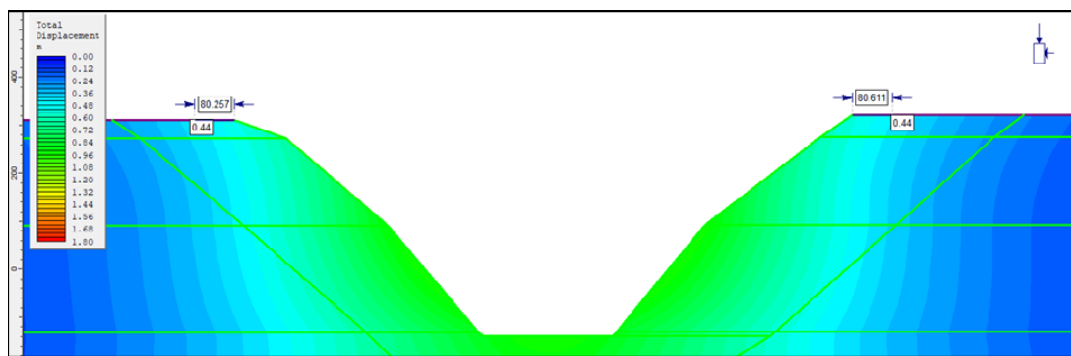


Рисунок 7 – Величины перемещений на текущем контуре карьера

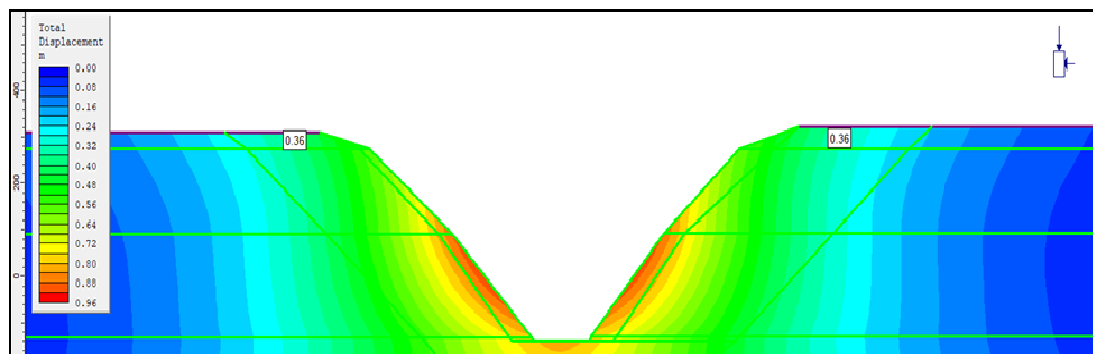


Рисунок 8 – Величины перемещений при разноске карьера



Анализ результатов моделирования:

1. Перемещения направлены в чашу карьера и являются растягивающими.
2. Дополнительные деформации на расстоянии 80 м от верхней бровки карьера в целом удовлетворяют интегральному критерию безопасных условий (общая зона влияния горных работ):  $\varepsilon = 1 * 10^{-3}$ .
3. Оценка смещений дневной поверхности при разноске приведена в разделе 2.11.6, которая не противоречит работам по математическому моделированию д.т.н. Звонарева Н.К. и ВНИМИ, которые основаны на гипотезе – на состоянии объектов, возводимых на прикарьерной территории, влияют не общие деформации, а лишь та их часть, которая сформировалась после их строительства.
4. Полная оценка смещений дневной поверхности должна приводиться с учетом совместной обработки месторождения.
5. Данная оценка и обоснование точек размещения новых стволов с учетом влияния горных работ будет выполнено в отдельной работе.
6. Реконструкция карьера не повлияет на безопасность расположения объектов городской инфраструктуры, объектов промышленности, а также зоны безопасного расположения объектов шахтной инфраструктуры рудника «Мир»

### **Разработка технологии интенсивного получения эмульсии для приготовления ЭВВ типа «Ирегель» (руководитель работы Никитин Р.Я.)**

Взрывные работы в АК «АЛРОСА» ведутся преимущественно с применением ВВ, изготовленных непосредственно вблизи производства работ (ВВ местного приготовления). При этом средний объем использования подразделениями Компании ВМ заводского изготовления в год составил: патронированных предохранительных ВВ – 1165 т; промежуточных детонаторов – 500 т.

Необходимо отметить, что одним из основных компонентов ВВ заводского изготовления является тротил – дорогостоящее вещество, высокоопасное и токсичное, при взрывчатом разложении которого выделяется значительное количество вредных газов.

В настоящее время на территории РФ производство тротила монополизировано, поэтому применение тротилосодержащих ВВ не может гарантировать экономическую эффективность производства БВР.

В этой связи с учетом мировой тенденции использования ВВ местного приготовления и опыта применения эмульсионных ВВ (ЭВВ) в Компании, а также своевременного внедрения новой технологии приготовления и применения ЭВВ в условиях ГОКов появились технологические решения замены дорогостоящих тротилосодержащих ВВ серийного производства на ВВ местного изготовления. Это значительно повысило экономическую эффективность БВР и энергобезопасность Компании.

В ходе внедрения технологии приготовления и применения патронированных ЭВВ (ПЭВВ) были сделаны следующие выводы:

- компоновка рецептов ПЭВВ марки НПГМ отвечает требованиям мировых аналогов, при этом для повышения эффективности эксплуатационных характеристик ПЭВВ в натуральных условиях открытых и подземных разработок АК «АЛРОСА» рекомендуется:
  - в рецептуре НПГМ-П-И-Б содержание воды увеличить до 15÷18 % от общей массы эмульсионной матрицы (оптимально 17 %), т.к. данный состав должен быть не восприимчив к капсулю-детонатору, а также для устойчивого инициирования от промежуточного детонатора его взрывчатые характеристики должны быть ниже чем у НПГМ-П-И-М;
  - в рецептурах НПГМ-П-И-М и НПГМ-П-Р-III содержание воды увеличить до 10÷12 % от общей массы эмульсионной матрицы (оптимально 11 %), т.к. данные составы должны быть восприимчивы к капсулю-детонатору, а также для повышения качества эмульгирования (снижение температуры выпадения кристаллов селитры и эффективное растворение в воде);
  - с учетом обеспечения стабильности качества при хранении ПЭВВ при низких температурах (до -40°C) диаметр капель дисперсной фазы (окислительный раствор) в матричной эмульсии должен составлять не более 1 мкм (оптимально 0,5 мкм), отсюда можно вычислить необходимое количество эмульгатора с учетом толщины

- пленки разделения фаз равной 25 Ангстрем, которое составит не менее 2,7 % от общей массы эмульсии в зимний период и не менее 1,7 % – в теплое время года;
- также с целью повышения стабильности эмульсии НПГМ в зимний период рекомендуется повышать процент натриевой или кальциевой селитры в окислительном растворе до достижения соотношения с аммиачной селитрой 1:4;
  - в процессе эмульгации рекомендуется обеспечить скорость линейного сдвига среды в гомогенизаторе не менее 10 м/с, т.е. при диаметре лопастей гомогенизатора равной 100 мм – обеспечить обороты не менее 1900 об/мин;
- в результате проведенных полигонных испытаний ПЭВВ НПГМ-П-П-Б, НПГМ-П-П-М, НПГМ-П-П-И подтверждено, что их взрывчатые характеристики (скорость и стабильность детонации, восприимчивость к инициирующему импульсу, передача детонации на расстоянии, бризантные свойства, детонационное давление...) соответствуют требованиям ТУ;
- в результате опытно-промышленных взрывов подтверждено, что удельный расход НПГМ-П-П-И при практическом применении в условиях проходческих работ в руднике «Удачный» достаточно точно определяется с помощью выражения

$$q_{пэвв} = q_{эм} \cdot \frac{Q_{ап5жв}}{Q_{пэвв}}, \text{ кг/м}^3, \quad (1)$$

где  $q_{эм}$  – применяемый удельный расход аммонит АП-5ЖВ, кг/м<sup>3</sup>;  $Q_{ап5жв}$  и  $Q_{пэвв}$  – теплота взрыва аммонит АП-5ЖВ и ПЭВВ, кДж/кг;  $\rho_{пэвв}$  составляет 2,64 кг/м<sup>3</sup> для выбранных параметров БВР;

- в результате опытно-промышленных взрывов подтверждено, что удельный расход НПГМ-П-П-Б при практическом применении в условиях открытых разработок УГОК определяется с помощью выражения

$$q_{пэвв} = q_{эм} \cdot \left(1 + \frac{N_{H_2O}}{100}\right), \text{ кг/м}^3, \quad (2)$$

где  $q_{эм}$  – применяемый удельный расход аммонит 6ЖВ или граммнит 79/21, кг/м<sup>3</sup>;  $N_{H_2O}$  – содержание воды в составе ПЭВВ, %;  $\rho_{пэвв}$  при взрывании пород на съездах и зарезке новых горизонтов карьера составляет 1,55 кг/м<sup>3</sup>;

- определена необходимая масса НПГМ-П-П-М в качестве промежуточного детонатора при инициировании скважинных зарядов эмульсионных ВВ. В этой связи для выбора необходимой массы ПЭВВ НПГМ-П-П-М, достаточной для инициирования основного скважинного заряда, необходимо оценить ее энерговооруженность по сравнению с ПТ-П500.

Данную задачу можно решить сравнительным анализом параметров продуктов детонации в точке Жуге. Критерием сравнения в данной работе является детонационное давление, выраженная формулой:

$$P = \frac{\rho_0 D^2}{n+1}, \text{ ГПа}, \quad (3)$$

где  $\rho_0$  – плотность ВВ, кг/м<sup>3</sup>;  $D$  – скорость детонации ВВ, м/с;  $n$  – показатель политропы продуктов детонации (ПТ-П500=2,9; ПЭВВ=3,1).

Таким образом подставив значения в данную формулу получим:

– для ПТ-П500  $P = \frac{1580 \cdot 7500^2}{2,9+1} = 22,79, \text{ ГПа};$

– для НПГМ-П-П-М  $P = \frac{1150 \cdot 4500^2}{3,1+1} = 5,68, \text{ ГПа}.$

Далее для количественной оценки (определение необходимой массы ПЭВВ в качестве промежуточного детонатора) при сравнительном анализе необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$m_{пэвв} = \frac{P_{пнт}}{P_{пэвв}} \cdot \frac{\rho_{пэвв}}{\rho_{пнт}} \cdot m_{пнт}, \text{ кг} \quad (4)$$

где  $P_{пнт}$  и  $P_{пэвв}$  – детонационное давление ПТ-П500 и ПЭВВ соответственно, ГПа;  $\rho_{пнт}$  и  $\rho_{пэвв}$  – плотность ПТ-П500 и ПЭВВ соответственно, кг/м<sup>3</sup>;  $m_{пнт}$  и  $m_{пэвв}$  – масса ПТ-П500 и ПЭВВ соответственно, кг.

Подставив значения в данную формулу получим:

$$m = \frac{22,79}{5,68} \cdot \frac{1150}{1580} \cdot 0,5 = \mathbf{1,46 \text{ кг.}}$$

- с целью размещения необходимой массы НППГМ-П-П-М в один патрон с удобными для изготовления «боевика» габаритами, рекомендуется:
  - использовать оболочку НППГМ-П-П-Б с диаметром 90 мм, тогда длина патрона составит 200 мм;
  - использовать оболочку НППГМ-П-П-Б с диаметром 120 мм, тогда длина патрона составит 115 мм, т.е. будет иметь форму шара диаметром 120 мм;
- разработана технология формирования гирляндного заряда из НППГМ-П-П-М с применением матерчатого или полипропиленового рукава диаметром 90 мм учитывающая дифференцированную линейную плотность зарядов по глубине скважины.

Таким образом, результаты данной работы позволяют обеспечить технологическую и экономическую эффективность БВР в условиях открытых и подземных разработок АК «АЛРОСА» путем замены тротилсодержащих ВВ на патронированные ВВ местного приготовления марки НППГМ.

*Научно-методическое сопровождение ОПИ, направленных на оптимизацию работы модуля эмульгирования комплекса подготовки компонентов ЭВВ НГОК*

Эмульсионные ВВ относятся к категории водоустойчивых промышленных ВВ на основе эмульсий типа «вода в масле», изготавливаемых с помощью технологий эмульгирования. При этом эмульсии представляют собой специфически эмульгированные системы, в которых мельчайшие капли жидкости водного раствора окислителя, как дисперсной фазы, находятся во взвешенном состоянии во всем объеме непрерывной фазы, образуемой маслянистым веществом и содержащей пузырьки газа, пустые стеклянные микросферы или другие пористые материалы.

Основным условием получения качественного ЭмВВ является изготовление стабильной матричной эмульсии из двух жидких фаз при смешении их с достаточной энергией в присутствии поверхностно-активного вещества (ПАВ). При этом в большинстве случаев ПАВ предварительно смешивают с дисперсионной средой, а эмульгирование производят при высоких скоростях сдвига в различных конструкциях аппаратов.

Известно, что при получении обратной эмульсии необходимо выполнения условия дозирования дисперсной (водной) фазы в дисперсионную среду (масляную фазу) и интенсивное перемешивание. В противном случае образуется физически не стабильная и не водоустойчивая прямая эмульсия масляной фазы в растворе окислителей, а для ее обращения требуется дополнительные энергетические затраты – длительное и интенсивное перемешивание. Исследования показали, что кроме порядка дозирования компонентов на процесс эмульгирования и качество полученной эмульсии влияет ряд факторов: температура эмульгирования, вязкость и плотность фаз, их объемное соотношение, кислотность водной фазы, параметры, характеризующие гидродинамический режим аппарата эмульгирования (тип мешалки, скорость вращения, соотношение ее диаметра с диаметром аппарата).

Основной целью данной работы являлось получение стабильной эмульсии в условиях комплекса подготовки компонентов (КПК) ЭВВ НГОК, обеспечивающей необходимые взрывчатые характеристики ЭВВ «Иремекс» и «Ирегель». При этом выполнены следующие основные задачи: определены принципы работы существующего модуля эмульгирования КПК ЭВВ НГОК, динамические параметры существующего насоса гомогенизатора-диспергатора (НГД) и определены оптимальные характеристики модуля эмульгирования, обеспечивающие получение стабильной эмульсии, а также разработана схема оптимизации существующей технологической линии эмульгирования КПК ЭВВ НГОК; проведены научно-методическое сопровождение ОПИ выбранных схем оптимизации технологической линии эмульгирования, лабораторные, полигонные и промышленные испытания полученных составов ЭВВ.

### **Сведения о существующем модуле эмульгирования КПК ЭВВ НГОК**

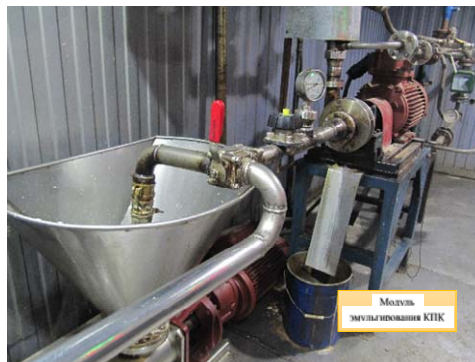
На действующей установке КПК ЭВВ НГОК аппарат эмульгирования НГД-15 по своему принципу действия относится к коллоидной мельнице (рисунок 9).

При этом его работа осуществляется при скорости вращения мешалки 500-800 об/мин, так как существующая схема подключения насоса не обеспечивает технологическую возможность работать на высоких оборотах.

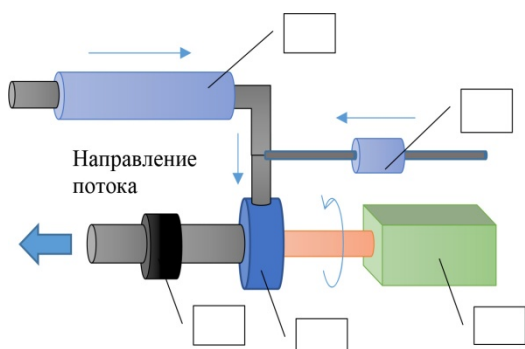
В этой связи эмульсия получается нестабильной, а при охлаждении способна кристаллизоваться. Это указывает на необходимость применения перемешивающего устройства с высокой интенсивностью воздействия на систему.

Исходя из выявленных факторов, влияющих на качество эмульсии при существующей технологии эмульгирования, рекомендовано изменить положение внешнего корпуса гомогенизатора и поменять развязку труб, соответственно: осевое направление – подвод рабочей среды, тангенциальное – отвод. При этом рабочее давление гомогенизатора регулируется узлом обратного клапана.

С целью наибольшей интенсификации и увеличение продолжительности смешивания разработана схема эмульгирования с двумя последовательными насосами НГД-15 (рисунки 10 и 11).

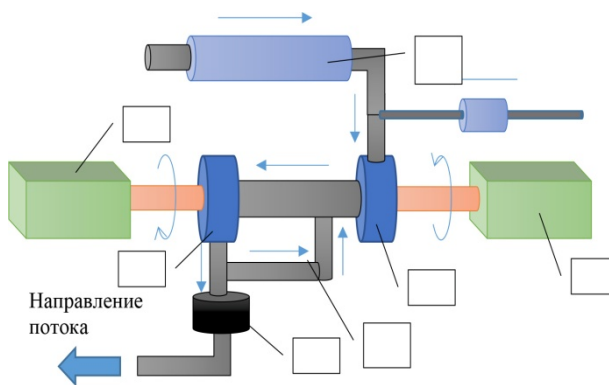


**Рисунок 9 – Вид модуля эмульгирования КПК ЭВВ НГОК**



**Рисунок 10 – Существующая схема эмульгирования:**

**1 – НГД-15; 2 – электродвигатель; 3 – насос топливной фазы; 4 – насос горячего раствора окислителя (ГРО); 5 – подпорный клапан-регулятор давления**



**Рисунок 11 – Предлагаемая схема эмульгирования:**

**1 – НГД-15 (предварительное смешивание); 2 – электродвигатель; 3 – насос топливной фазы; 4 – насос горячего раствора окислителя (ГРО); 5 – НГД-15 (окончательное смешивание); 6 – подпорный клапан-регулятор давления; 7 – электродвигатель; 8 – рециркуляционный канал**

Представленная на рисунке 11 технологическая схема эмульгирования предусматривает работу двух НГД-15, которые по своему действию направлены в противоположные стороны. При этом в узле первого НГД-15 обеспечивается резкий перепад давления рабочей смеси, соответственно, выполняется основное условие принципа работы гомогенизатора. Таким образом первый НГД-15 работает по принципу гомогенизации с оборотами не менее 800 об/мин, а обороты второго НГД-15 рекомендуется обеспечить не менее 1400 об/мин.

Общий вид оптимизированной линии эмульгирования представлен на рисунке 12.



**Рисунок 12 – Общий вид оптимизированной линии эмульгирования**

В ходе выполнения данной работы определены:

- принципы работы существующих в практике аппаратов и модуля эмульгирования КПК ЭВВ НГОК – функционирующая как комбинированная схема работы аппаратов смешивания, обеспечивающий процесс гомогенизации (резкий перепад давления рабочей смеси) и коллоидная мельница (высокая скорость вращения, сдвигающие силы);
- динамические параметры существующего насоса гомогенизатора-диспергатора КПК ЭВВ НГОК, скорость вращения мешалки 500-800 об/мин, так как существующая схема подключения насоса не обеспечивает технологическую возможность работать на высоких оборотах;
- определены оптимальные динамические характеристики модуля эмульгирования, обеспечивающие получение стабильной эмульсии, при этом для получения стабильной эмульсии с помощью коллоидных мельниц и гомогенизаторов требуется интенсивный гидродинамический режим смешивания с линейной скоростью сдвига не менее 10 м/с, временем пребывания в зоне смешения 20-30 с и температурой эмульгирования в пределах  $75 \pm 5^\circ\text{C}$ ;
- в условиях КПК ЭВВ и учетом значения диаметра лопастей гомогенизатора 170 мм необходимо обеспечить обороты мешалки не менее 1400 об/мин;
- оптимизированная схема эмульгирования, предусматривающая работу двух насосов-смесителей НГД-15, которые по своему действию направлены в противоположные стороны. При этом в узле первого НГД-15 обеспечивается резкое падение давления рабочей смеси, соответственно, выполняется основное условие принципа работы гомогенизатора, а в узле второго НГД-15 обеспечивается высокая скорость вращения и циркуляция рабочей жидкости, выполняется основное условие работы коллоидной мельницы и увеличение времени смешивания рабочей жидкости;
- опытным путем работы КПК ЭВВ НГОК уровень повышения эксплуатационной эффективности оптимизированного модуля эмульгирования за счет увеличения скорости загрузки СЗМ на 17%;
- лабораторные исследования эмульсии «Ирегель», приготовленной по оптимизированной схеме эмульгирования, показали соответствие всех показателей требованиям ТУ;
- в результате полигонных испытаний ЭВВ «Ирегель» подтверждено повышение его взрывчатых характеристик на 12 % (скорость детонации контрольного образца «Ирегель» – 4361 м/с, опытного образца – 4927 м/с);
- опытно-промышленные взрывы с применением ЭВВ «Ирегель» в натуральных условиях карьеров НГОК показали улучшение степени дробления взорванной горной массы на 6-7 %.

Таким образом, результаты данной работы позволяют повысить технологическую и экономическую эффективность БВР в условиях открытых разработок НГОК путем повышения взрывчатых характеристик ЭВВ «Ирегель» и скорости загрузки СЗМ.

## **2.17. ООО «ИНСТИТУТ ГИПРОНИКЕЛЬ»**

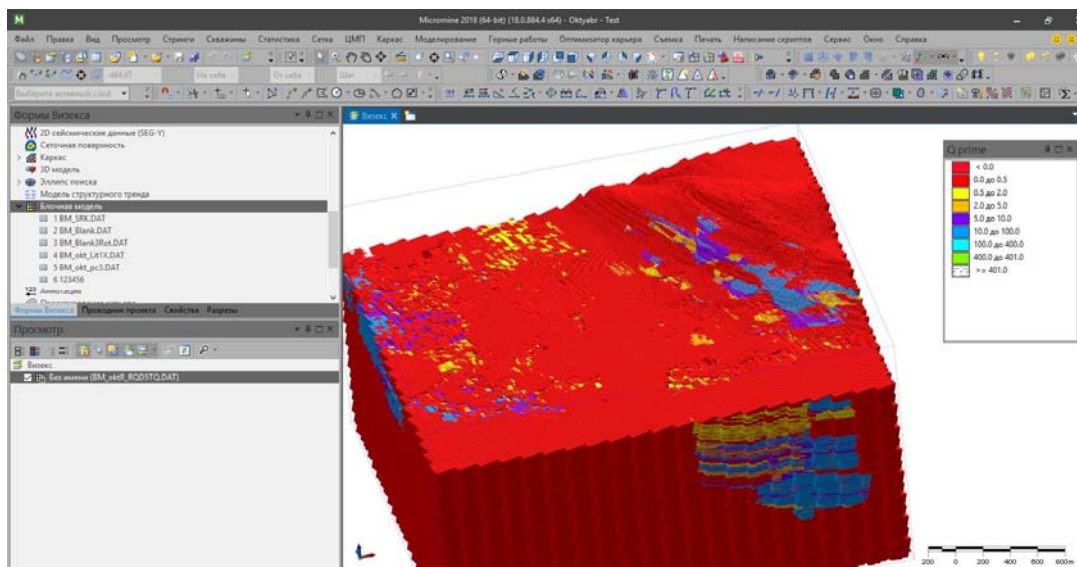
### **Комплексные геомеханические исследования**

Горной лабораторией ООО «Институт Гипроникель» (аттестат аккредитации РОСС RU.0001.22ЭС28) продолжают выполняться комплексные геомеханические исследования для снижения возможных рисков не прогнозированного обрушения выработок различного назначения, повышение безопасности и эффективности горных работ при отработке месторождений подземным способом.

Основная задача – определение геомеханических характеристик массива горных пород, слагающих поле рудников для последующего их использования на различных стадиях проектирования горных работ.

Итоговым продуктом комплексных геотехнических исследований, как правило является блочная геомеханическая модель, содержащая в себе данные, необходимые для геотехнических расчетов и численного моделирования. Трехмерную визуализацию можно выполнить по одному из параметров, интерполированных в модели, например, по рейтингу геологической прочности массива  $Q_{\text{rtime}}$  (рисунок 1).





**Рисунок 1 – Характерный разрез геомеханической модели рудника. Штриховка по рейтингу  $Q_{prime}$**

В 2019 году была разработана геомеханическая модель рудника «Октябрьский» ПАО «ГМК «Норильский никель». На 2020 год в лабораторию поступило еще три предложения на разработку и актуализацию геомеханических моделей для рудников «Таймырский», «Комсомольский» и шахты «Ангидрит». Все рудники относятся к ПАО «ГМК «Норильский никель».

### **Проведение физико-механических испытаний образцов**

Аккредитованная испытательная лаборатория с 2012 года осуществляет комплексное определение физических, деформационных, прочностных свойств горных пород, щебня, гравия, закладочных бетонов (рисунок 2).

Лаборатория проводит более 20 видов испытаний как по ГОСТам, так и по зарубежным стандартам.

Нашими постоянными партнерами являются ООО «Норильскгеология», ООО «Русская буровая компания», ООО «СПб-Гипрошахт», ООО «ИПИГАЗ», ООО «ЦГЭИ» и др.

С сентября 2019 года Горная лаборатория перешла на работу по межгосударственному стандарту ГОСТ ISO/IEC 17025-2019.



**Рисунок 2 – Проведение физико-механических испытаний образцов**

### **Практическое применение геотехнических исследований**

В 2019 году лаборатория выполнила очень важную для Компании «ГМК «Норильский никель» работу – «Разработке рекомендаций по параметрам капитального рудоспуска». В рекомендациях, на основе комплекса геотехнических исследований, была дана оценка геотехнических рисков проходки вертикальных стволов под рудоспуски для различных параметров и сценариев строительства.

Базируясь на поведенных исследованиях были определены участки с пониженной устойчивостью массива горных пород, на которых устойчивый расчетный пролет (устойчивый диаметр рудоспуска) составляет менее 3м (рисунок 3).

Изучив керновый материал с проблемных участков (рисунок 4) учёные приняли решение об изучении возможности крепления рудоспуска, в том числе и данных участков. Были определены рейтинги  $Q$  Бартон и по Методике Бартон было выбрано крепления для определенных участков (рисунок 5). Проблемные участки решили предварительно укрепить смолиньекциями.

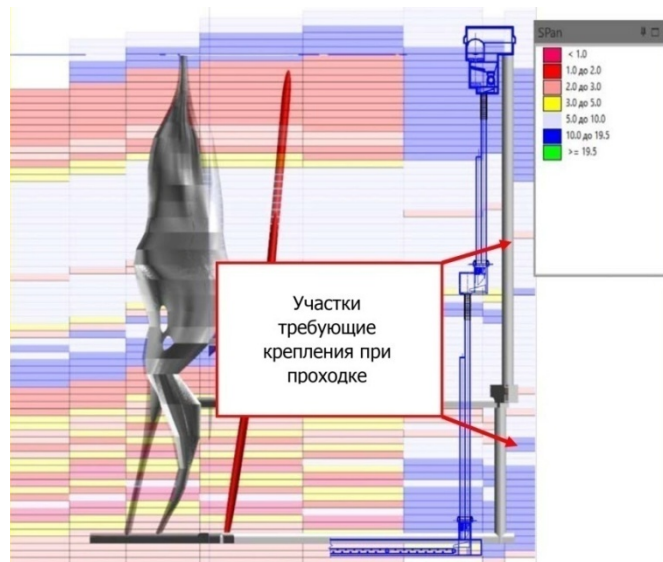


Рисунок 3 – Геомеханическая модель района капитального рудоспуска



Рисунок 4 – Фото керна с проблемных участков

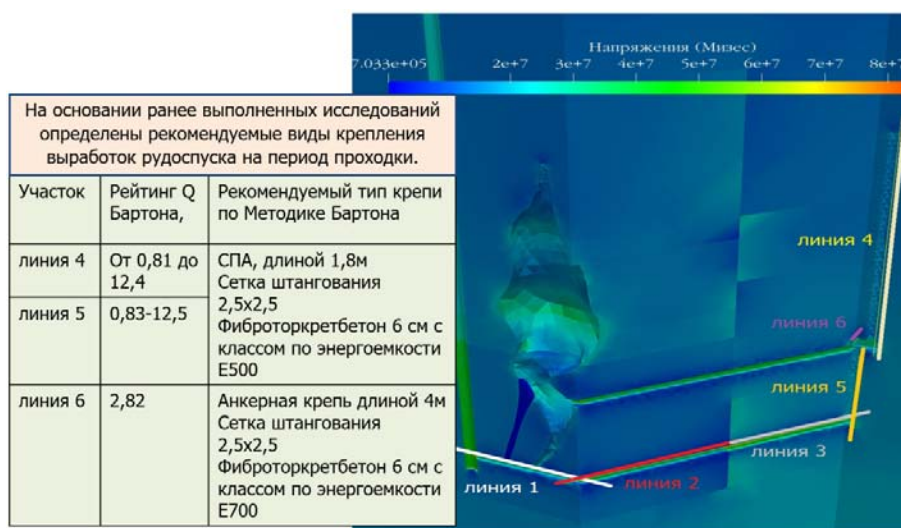


Рисунок 5 – Выбор крепления рудоспуска

Для выбора материала для инъекций были направлены запросы письма в ведущие фирмы по инъекционному упрочнению. Были получены материалы и технические решения (предложения) от: Материалы предоставили: Sika; MC Bauchemie; Basf (БалтМонолитСтрой); НПО Стрим; Normet; Minova; Евросинтез Синерго; Сим строй (Гидрозо).

Далее проводилась прокачка модельных образцов состоящих из пород, представленных на участке строительства рудоспуска (рисунок 6).

После выбуривания керн из модельных образцов (рисунок 7) керны подвергались физико-механическим испытаниям, основным из которых являлось испытание на истираемость горными породами. Методология испытаний заключается в определении потери массы образца после 10000 оборотов в полочном барабане (рисунок 8). Скорость 30 об/мин. Результаты оцениваются как сопоставительно между различными смолами (качественно). Так и для калибровки констант износа. С целью последующего численного моделирования износа рудоспуска в программе Rocky, методом дискретных элементов.



**Рисунок 6 – Прокачка модельных образцов смолой**

Выводы по результатам смолинъекции:

- в лабораторных условиях установлена возможность эффективного упрочнения нарушенных пород смолинъекциями;
- установлена достаточная проницаемость и заполнение пустот;
- доказано что упрочненный массив на порядок лучше сопротивляется истиранию (абразивному износу), чем строительный бетон
- упрочнение микроцементами не эффективно в данных породах;
- наилучшие показатели по прочности массива имеют жесткие полиуретановые смолы. Однако они не являются огнеустойчивым материалом и не могут быть использованы в местах ведения БВР в случае расширения рудоспуска и сварочных работ;
- участки массива, планируемые к расширению БВР должны упрочняться силикатными составами.

Кроме того, в работе был проведен тщательный обзор мирового опыта строительства рудоспусков, приведены рекомендации по параметрам заложения, строительства, эксплуатации, ликвидации завесаний, определен срок службы рудоспуска и т.д.



**Рисунок 7 – Выбуривание керн из модельного блока**



**Рисунок 8 – Закрепленные в полочном барабане образцы**



Данная НИР показала, что комплексный подход к строительству и эксплуатации таких дорогостоящих горных сооружений как рудоспуски центральной рудоподачи может сэкономить сотни миллионов рублей на ремонтные работы и исключить строительство нового рудоспуска, взамен выбывшего из строя.

### **Специальные мероприятия по ведению горных работ в условиях газового режима на подземных рудниках**

Установлено, что метанообильность рудников Норильского района не зависит от объема добываемой рудной массы, а определяется развитием горных работ в газоносных зонах. Наиболее высокая метанообильность выработок обусловлена поступлением газов из угольных пластов.

Для обеспечения безопасности ведения горных работ на рудниках в условиях «газового режима» специализированными организациями (институтами) должны разрабатываться, утверждаться руководителем организации и перед введением в организации согласовываться с органом исполнительной власти, уполномоченным в области промышленной безопасности, или по его поручению территориальными органами *специальные мероприятия по ведению горных работ в условиях «газового режима»*.

В настоящее время на рудниках Заполярного филиала ПАО «ГМК «Норильский никель» действуют разработанные Горной лабораторией ООО «Институт Гипроникель» в 2015 году «Специальные мероприятия по ведению горных работ в условиях газового режима на подземных рудниках «Октябрьский», «Таймырский», «Маяк», «Комсомольский» (шахты «Комсомольская», «Скалистая») ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель», в которых опасным фактором газопроявлений является горючий газ метан.

В связи с внесением изменений в «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых» (приказ Ростехнадзора №580 от 21.11.2018 года) в 2019 году действующие «Специальные мероприятия ...» были актуализированы специалистами Института.

Новые «Специальные мероприятия ...» отличаются комплексным подходом и содержат требования безопасного производства технологических процессов в условиях не только метанопроявлений, но и в случаях выделений ядовитых газов, скоплений взрывчатой пыли и критически низкого содержания кислорода в атмосфере тупиковых выработок.

«Специальные мероприятия ...», кроме обязательных разделов, предписанных «Правилами безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых», содержат раздел, посвященный отработке участков залежей в условиях опасности взрыва сульфидной пыли.

Проведённая ООО «Глобал Маннинг Эксплозив Раша» НИР по оценке степени опасности (безопасности) породной и рудной сульфидной серосодержащей пыли в условиях отработки Талнахского и Октябрьского месторождений показала, что все сульфидные руды с содержанием серы более 40% являются взрывоопасными, а руды с содержанием серы менее 35% признаны невзрывоопасными. Разработаны мероприятия по недопущению скоплений взрывоопасной сульфидной пыли при ведении горных работ.

В настоящее время мы уже новые «Специальные мероприятия по ведению горных работ в условиях газового режима ...» которые обеспечат прогнозирование, мониторинг опасных газопроявлений и безопасность ведения горных работ на подземных рудниках ПАО «ГМК «Норильский никель».

В «Спецмероприятиях...» 2019 года предусмотрены мероприятия по контролю содержания кислорода в шахтной атмосфере. Трагический случай, произошедший 22 октября 2019 года на руднике «Таймырский», унесший жизни трех человек, показал, что **окислительные процессы в сульфидных рудах могут понизить содержание кислорода в рудничной атмосфере до критического уровня.**

Перспективные направления исследований в области безопасности горных работ на больших глубинах разработки рудных залежей (более 1 км):

- мониторинг и прогноз техногенных процессов – перераспределение горного давления, загазованность горных выработок, проявления горючих и ядовитых газов, образования взрывоопасных скоплений пыли;

- исследования влияния высокой температуры массива (более 26°С) на интенсивность газопроявлений;
- оценка воздействия высокой температуры рудничного воздуха в рабочих зонах на организм человека;
- уточнение нормативов предельно допустимых концентраций газов в условиях высокой температуры рудничной атмосферы.

## **2.18. КОМПАНИЯ АО «ВИСТ ГРУПП» (ВХОДИТ В ГК «ЦИФРА»)**

В 2019 году компания АО «ВИСТ Групп» выполнила комплекс работ по созданию новых функциональных модулей системы управления горнотранспортными комплексами открытых и подземных горных работ; разработке и развитию систем роботизированной добычи и транспортировки полезных ископаемых; реализации систем управления и промышленной безопасности на горных предприятиях.

### **В области автоматизации открытых горных работ получены следующие результаты:**

1. На основе развития программного обеспечения, разработанного ранее бортового программно-аппаратного комплекса (системы) контроля загрузки и топлива автосамосвала БелАЗ(СКЗиТ), создана система контроля технического состояния и эксплуатации карьерного автосамосвала(СКЭ). Система позволяет по показаниям датчиков давления в цилиндрах пневмоподвесок, инклинометра и акселерометра контролировать техническое состояние подвесок и степень воздействия груза в кузове на раму, состояние технологических дорог, качество вождения автосамосвала в процессе эксплуатации. Разработанные алгоритмы системы прошли отладку на имитационной модели, тестовую апробацию на полигоне завода «БелАЗ» и введены в опытную эксплуатацию на железорудном карьере АО «Олкон».

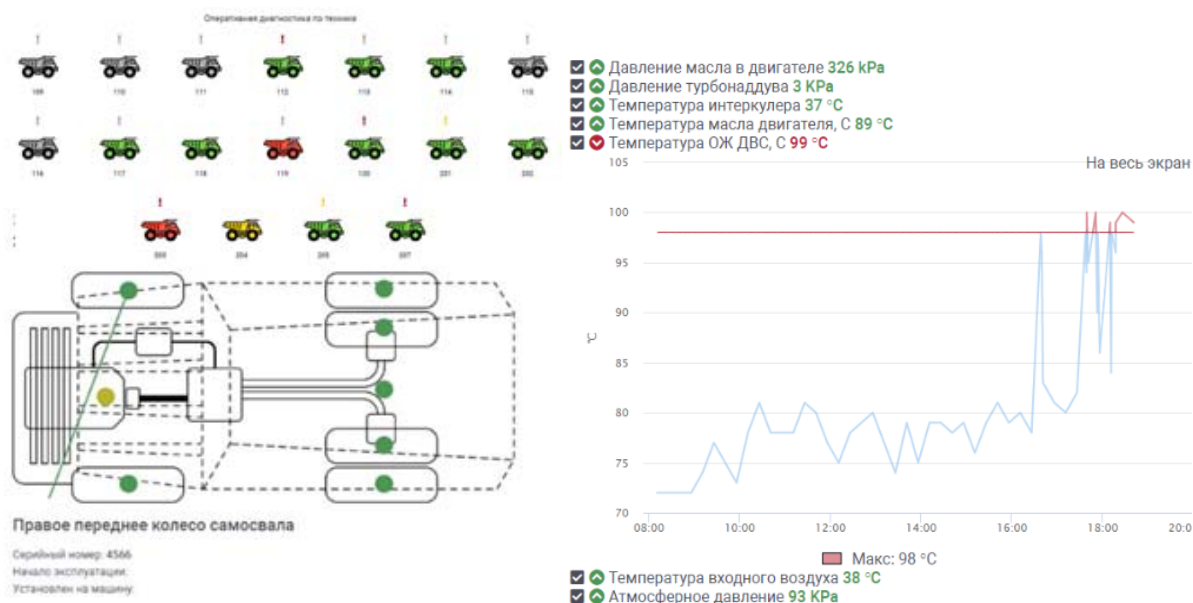
2. Разработана система удаленного мониторинга технического состояния и режимов эксплуатации карьерной техники. Система обеспечивает сбор, хранение, анализ и отображение информации о техническом состоянии бортовых систем, оперативное информирование водителей и диспетчеров о выходе из строя оборудования для принятия мер по своевременной остановке техники и выполнению ремонтных работ. Система была внедрена и испытана в АО «СУЭК» на Тугнуйском угольном разрезе и Восточно-Бейском разрезе. С накоплением данных об инцидентах планируется постепенный переход от системы планово-предупредительных ремонтов, регламентируемых заводом-изготовителем карьерной техники к ремонтам по фактическому состоянию техники и предиктивным ремонтам, на основе моделей прогнозной аналитики.

При условии определения рабочих интервалов значений для каждого параметра автоматизированная система самостоятельно фиксирует устойчивые выходы из них и сигнализирует сервисному персоналу (рисунок 1). В купе с измененным подходом к управлению надежностью (контролю за состоянием) это позволяет сократить аварийные простои вплоть до полного исключения. На практике это соответствует точному следованию предписаниям производителя в части режима эксплуатации оборудования: давление масла и ОЖ, рабочие температуры, токи, обороты и пр., а также диагностические сообщения, генерируемые бортовыми компьютерами (на примере самосвалов БелАЗ – от 80 до 108 штатных параметров, в зависимости от модели).

3. Отработаны и испытаны технологии позиционирования персонала и транспорта на открытых работах и внутри помещений, а также технологии контроля опасного сближения техники и персонала при ведении открытых и подземных горных работ. В результате исследований определены основные технологии для реализации систем позиционирования. Проведены исследования по выявлению преимуществ и недостатков каждой технологии для заданных условий применения. Проведены лабораторные и полигонные испытания оборудования на базе технологий, показавших наилучшие результаты для решения задач позиционирования и контроля опасного сближения техники и персонала для открытых и подземных горных работ. Система позиционирования позволяет оперативно определять местонахождение лиц, находящихся на объектах ведения открытых горных работ в режиме реального времени, предупреждать диспетчера и работника о приближении в карьере к опасным зонам, а также автоматизировать выдачу сменных заданий персоналу и контролировать их исполнение. Для передачи

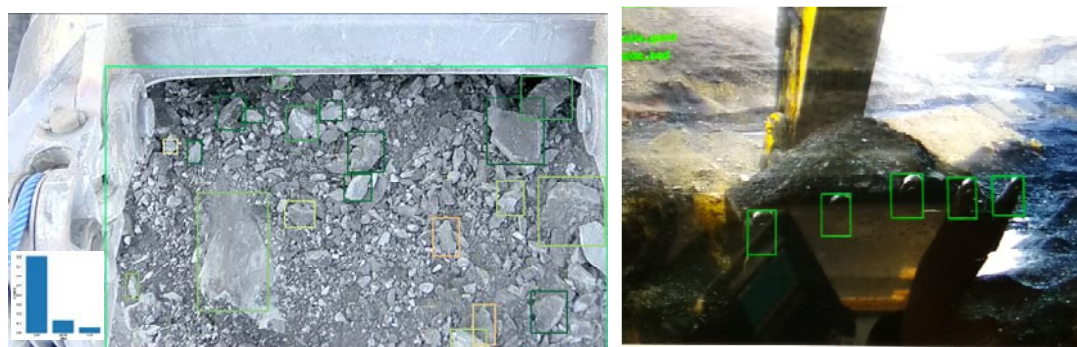


данных о местонахождении всем сотрудникам выдается мобильный телефон с предустановленным приложением системы. Система позиционирования внедрена в качестве пилотного проекта на Стойленском ГОКе группы НЛМК с интеграцией в автоматизированную систему управления горнотранспортными комплексами (АСУ ГТК) «КАРЬЕР». Предполагается, что разработанные технологии позиционирования персонала на горных предприятиях будут иметь также важное значения в современных условиях сложной эпидемиологической ситуации для контроля опасного скопления людей и контроля допустимого сближения персонала.



**Рисунок 1 – Система онлайн-мониторинга технического состояния оборудования**

4. На основе применения методов искусственного интеллекта и распознавания образов разработана система контроля зубьев и определения гранулометрического состава горной массы в ковше экскаватора. В он-лайн режиме контролируются фракции горной массы, что позволяет делать выводы о качестве буровзрывных работ, и уточнять расчетные модели зарядки скважин. На добычном экскаваторе такая система предотвращает попадание коронок ковша или их частей в продукцию (при их выпадении, повреждении), что в дальнейшем угрожает повреждением обогатительного или обрабатывающего оборудования (рисунок 2).



**Рисунок 2 – Система онлайн-контроля гранулометрического состава вскрыши и потери коронок ковша**

5. Разработана система автоматической диспетчеризации горнотранспортного оборудования, многофакторной оптимизации транспортных потоков и управления качеством отгружаемого на обогатительную фабрику сырья. Система интегрирована в АСУ ГТК «КАРЬЕР» в качестве функционального модуля и прошла опытно-промышленные испытания в условиях Стойленского ГОКа(НЛМК) и Качканарского ГОКа(ЕВРАЗ).

6. Разработана и внедрена система диспетчеризации открытых горных работ с высокоточным позиционированием и управлением качеством на предприятии Cosapi Minera, Перу, с применением алгоритмов оптимизации и автоматическом диспетчеризации самосвалов.

**В области автоматизации подземных горных работ получены следующие результаты:**

1. Для условий подземной добычи полезных ископаемых разработана система учета производственных показателей горнодобывающей техники: подсчет рабочего времени, количественные и качественные показатели перевезенной руды, учет поднятой руды и учет остатков горной массы в рудоспусках (АСУ ГР). Работы проведены на трех рудниках ПАО «ГМК «Норильский никель». На базе АСУ ГР разработана система контроля за рудопотоком, в результате АСУ ГР объединила все отдельные участки рудопотока в единую систему и позволяет оперативно выявлять проблемные места и исправлять ситуацию и повышает производительности работы рудника, снижает затраты и увеличивает объем добытой руды.

2. Проведены исследования и выполнен комплекс работ по внедрению системы управления движением локомотивом без участия машинистов, когда все стадии прохождения маршрута составом вагонов полностью роботизированы. Данная роботизация позволяет наладить эффективную работу локомотивов в режиме 24/7, максимизировать объем перевезенной горной массы и снизить эксплуатационные издержки.

**В области автоматизации промышленной безопасности горных предприятий достигнуты следующие результаты:**

1. Разработана концепция Многофункциональной системы промышленной безопасности для открытых горных работ (МФСБ ОГР). Концепция предусматривает использование в качестве составных частей МФСБ ОГР систем контроля бодрствования водителей и операторов горной техники, систем предотвращения столкновений горной техники и наездов на персонал, системы позиционирования работников карьера(разреза). Эти системы должны быть интегрированы в АСУ ГТК «КАРЬЕР», их контрольные показатели передаются в центральную диспетчерскую на сервер, записываются для дальнейшей обработки и отображаются на экранном мониторе системы безопасности наряду с параметрами безопасности горной техники, поступающих в АСУ ГТК «КАРЬЕР» от следующих подсистем: контроля груза и топлива(СКЗиТ); диагностики подвески и рамы; диагностики двигателя; тягового электропривода и гидравлики; контроля качества дорог; контроля температуры и давления в шинах и др. Также в МФСБ ОГР должен быть интегрирован программный комплекс ЕКП и ФСН(Единая книга предписаний и формирование сменных нарядов), а также, при необходимости, следующие системы(подсистемы): контроля устойчивости бортов карьера; контроля состояния технологических дорог; аэрогазового контроля в карьере; пожарной безопасности горной техники и другие системы контроля состояния горногеологических и горнотехнических условий добычи полезных ископаемых в карьере (разреze). Разработанная концепция предусматривает построение МФСБ ОГР на единой программной платформе, что существенно упрощает взаимосвязь МФСБ ОГР с другими информационными системами горного предприятия.

2. Для условий Тугнуйского угольного разреза (АО «СУЭК») проведены испытания и опытно-промышленное внедрение системы контроля бодрствования водителя карьерного автосамосвала («ОКО»), а также работы по интеграции системы в АСУ ГТК «КАРЬЕР», как составной части МФСБ ОГР.

3. Выполнен комплекс работ по развитию программного обеспечения разработанной ранее автоматизированной системы ЕКП и ФСН Разработаны и проведены промышленные испытания и внедрение следующих систем (подсистем):

- **Допускная система.** Функционал системы позволяет автоматизировать допуск сотрудников к работе. Выполняет интеграцию между процедурами отслеживания квалификации, контроля доступа на объект и результатами медицинского осмотра сотрудника перед рабочей сменой. В случае несоответствия инициировать процедуру недопущения работника или наложение ограничений на выполнение работ. Проведены испытания и внедрение системы в АО «Северный Кузбасс».

- **Мобильные приложения.** Функционал позволяет обеспечить требуемое качество информации (своевременность, достоверность, доступность) в системе оперативно-диспетчерского управления для всех участников процесса. Реализованы функции контроля

объектов и технологических процессов, функции оформления результатов проведения проверок, функции контроля и изменения сменных заданий, функция обеспечения оперативного взаимодействия, согласования работ между подразделениями в смене. Система прошла опытно-промышленные испытания и внедрена в АО «Алтыналмас» (Казахстан).

• **Система планирования сменных объемов на основе технологических карт.** Технологическая карта на вид работ содержит в своем составе информацию о пошаговом выполнении каждой операции, регламент по времени на выполнение, перечень необходимых ресурсов, материалы и инструменты, требования к квалификации и количеству сотрудников. Обеспечение оптимальной балансировки ресурсов. Система внедрена в АО «Алтыналмас».

• **Система автоматической отчетности за сутки.** Функционал позволяет обеспечить автоматическое формирование суточных рапортов. Обеспечивает достоверность данных за счет исключения лишних передаточных звеньев и ручных манипуляций. Система внедрена в АО «Алтыналмас».

**В области создания роботизированных программно-аппаратных комплексов добычи и транспортировки полезных ископаемых получены следующие результаты:**

1. Проведены исследования и работы по модернизации программного обеспечения «Системы сканирования окружения» автономного карьерного самосвала. С помощью сканирующего лидара QuanergyM8-1 проведена идентификация рельефа участка карьера, людей, осадков. Установлено, что сегментация сложного рельефа на 8-лучевом лидаре Quanergy M8-1 возможна в ближней зоне, на больших расстояниях разделение неоднозначно. Слабые осадки вроде мелкого дождя, тумана практически не отражаются на лидарах, но ограничивают дальность эффективного зрения. В отсутствие заметных осадков отражающей способности одежды достаточно для создания надёжного отклика на 60+ метрах.

2. Проведены исследования и разработан комплекс программ для построения трёхмерной карты рельефа карьера лидаром с учетом качающегося сенсора и коррекции ошибок позиционирования. Установлено, что картирование сложного рельефа осуществимо при качаниях сенсора до 4° относительно корпуса машины и горизонтальной погрешности GPS до 0.5 м, без привлечения SLAM. Разработана и опробована двухпроходная схема, использующая статистическое накопление данных.

3. Разработаны способы и алгоритмы автоматического бурения скважин самоходными буровыми станками. Установлено, что для имитации действий квалифицированного оператора при бурении достаточно детерминированного алгоритма, применение методов машинного обучения на этом уровне представляется нецелесообразным.

4. Разработаны алгоритмы и режимы управления для самосвала с электромеханическим приводом, с учётом особенностей работы двигателя, тормозов и других подсистем, узлов и агрегатов карьерного автосамосвала.

5. Разработан алгоритм управления с прогнозирующей моделью, учитывающей в том числе, задержки исполнения команд управления. Тестирование показало, что для устойчивого движения тяжёлых карьерных самосвалов необходима общая информация об уклоне дороги впереди самосвала, а алгоритм, работающий исключительно на поддержании текущей скорости, приводит к неэффективным режимам работы.

6. Разработаны алгоритмы определения радаром людей, движущегося транспорта, в том числе поперечно движущегося. Установлено, что радары Delphi автомобильного класса позволяют относительно эффективно детектировать движущиеся машины используя известные алгоритмы фильтрации, ассоциации и трекинга. Существенной сложностью оказываются неточности определения собственной скорости, несмотря на применение высокоточного спутникового позиционирования с дифференциальной поправкой. В условиях движения в карьере, определение собственной скорости по данным радара дает сбой в некоторых ситуациях.

7. Разработаны алгоритмы и программное обеспечение управления движением автономного самосвала по показаниям внутренних датчиков (одометрии) без внешнего позиционирования. Испытания системы проведены на базе трёхосного Камаза в условиях Нижнетагильского металлургического комбината.

8. Разработаны алгоритмы управления движения (следования) автономного самосвала за впереди идущей машиной – лидером с наведением по двумерному лидару. Испытания на полигоне показали устойчивость и надежность предлагаемого алгоритма.

9. Разработана новая версия программно-аппаратного комплекса универсального рабочего места оператора дистанционного управления (РМО). Современная версия РМО предполагает варианты применения системы для удаленного управления роботизированной погрузочно-доставочной техникой на открытых горных работах: режим контроля сложных ситуаций – режим роботизированного движения с возможностью мгновенного вмешательства; режим дистанционного управления – оператор управляет движением, активны только системы дистанционного присутствия и помощи водителю.

10. В условиях полигона завода «БелАЗ» и промышленных испытаний на Абаканском угольном разрезе (АО «СУЭК») проведены испытания автономного автосамосвала БелАЗ – 7513R с функциями и возможностями: автономного движения по маршруту грузоперевозки; сканирования окружения; автономной установки под погрузку; автономной разгрузки в заданной зоне по заданной схеме; возможностью дистанционного управления и режимом общего контроля (дежурный режим, действия оператора требуются только в ответ на оповещения).

11. Для карьерных автосамосвалов «БелАЗ» разработана концепция Autonomousready «Автосамосвал, готовый к роботизации». Концепция предполагает установку базовых цифровых программно-аппаратных комплексов в заводских условиях (система управления тормозной системой, система управления оборотами двигателя, система рулевого управления, система управления опрокидывающим механизмом, диагностическая система) и последующую установку дополнительных систем роботизированного автосамосвала непосредственно на горном предприятии (лидары, радары и другие системы сканирования окружений, навигационные системы и гироскопы, системы радиосвязи и др., бортовые контроллеры и системы экстренной остановки, датчики и проч.). Предприятие, приобретающее автосамосвал в исполнении Autonomousready, получает по цене «традиционного» карьерного самосвала современный автосамосвалы цифровыми системами управления и развитой системой диагностики (самодиагностики) с последующей возможностью быстрого дооснащения его в «полевых» условиях до роботизированного автосамосвала – о мере готовности к переходу к роботизированным технологиям грузоперевозок.

#### **Участие компании АО «ВИСТ Групп» в международных выставках и форумах в 2019 году:**

1. **28 января – 1 февраля «Неделя горняка-2019» (Москва)**
2. **12-14 февраля Международный форум «Технологии безопасности» 2019 (Москва)**
3. **27-29 марта UzMiningExpo 2019 (Ташкент, Узбекистан)**
4. **10-12 апреля MongoliaMining 2019 (Улан-Батор, Монголия)**
5. **16-19 апреля IMCET 2019 (Белек, Турция)**
6. **16 апреля SkolkovoRobotics Forum 2019 (Москва)**
7. **17-19 апреля Inaugural Marrakesh Mining Convention (Марракеш, Марокко)**
8. **15-21 апреля BAUMA 2019 (Мюнхен)**
9. **22-26 апреля Всероссийская неделя охраны труда (Сочи)**
10. **7-9 мая Arminera (Буэнос-Айрес, Аргентина)**
11. **22-24 мая KIOSH 2019 (Нурсултан, Казахстан)**
12. **27-30 мая Exponor 2019 (Антофагаста, Чили)**
13. **4-7 июня BAUMA STT RUSSIA 2019 (Москва)**
14. **4-7 июня Уголь России и Майнинг 2019 (Новокузнецк)**
15. **27-28 июня Latin America Mining Technology and Summit (Сантьяго, Чили)**
16. **8-11 июля ИННОПРОМ (Екатеринбург)**
17. **24-26 сентября SIMC 2019 (Марокко)**
18. **25-27 сентября Майнинг. Металлургия. Генерация (Новосибирск)**
19. **26-30 сентября ISM 2019 (Иркутск)**
20. **9-11 октября SYMPHOS 2019 (Марокко)**
21. **23-26 октября IMMAT 2019 (Турция)**

### **Доклады на конференциях и публикации:**

1. Владимиров Д.Я. **Комплексный подход к построению систем безопасности на открытых горных работах.** / Доклад на КОНФЕРЕНЦИИ, посвященной 300-летию горного и промышленного надзора России. – 17 декабря 2019 г.

2. Клебанов А.Ф. **Перспективы применения безлюдных технологий на открытых горных работах.** / Доклад на Научном Совете РАН по проблемам горных наук 31 января 2020 г. – М.: МГИ НИТУ «МИСиС».

3. Клебанов Д.А. **Автоматизация и роботизация горнодобывающего предприятия: комплексный подход к изменению процесса ведения горных работ.** / Доклад на конференции «Технологии разработки месторождений полезных ископаемых» в рамках выставки World Russia 2019.

4. Клебанов А.Ф. **Автоматизация и роботизация открытых горных работ: опыт цифровой трансформации.** // Горная промышленность. – 2020. – № 1. – С.8-11.

5. Клебанов А.Ф., Сиземов Д.Н., Кадочников М.В. **Комплексный подход к удаленному мониторингу технического состояния и режимов эксплуатации карьерного автосамосвала.** // Горная промышленность. – 2020. – № 2. – С.75-82.

## **2.19. ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ НИТУ «МИСИС»**

На сегодняшний день Горный институт НИТУ «МИСиС» является одной из ведущих научных и образовательных организаций в области добычи и переработки минерального сырья. Столетняя история становления и развития позволила создать уникальный задел по целому ряду научных направлений. В то же время в последние несколько лет развитие получили исследования, связанные с освоением месторождений в условиях Крайнего Севера, разработкой и внедрением цифровых технологий в добывающий сектор, моделирования месторождений и технологий их освоения.

Основными направлениями научной деятельности Горного института НИТУ «МИСиС» являются:

- обоснование методов и проектирование технических средств изучения свойств горных пород и техногенных отложений;
- разработка методов комплексного освоения недр;
- оценка блочных моделей рудных месторождений с применением нейронных сетей;
- гидрогеологическое и инженерно-геологическое обеспечение горных и строительных работ;
- изучение качественных характеристик твердого ископаемого топлива;
- управление качеством минерального сырья;
- технологии изготовления и ремонта горных машин;
- разработка способов борьбы с пылью на горных предприятиях;
- управление безопасностью труда;
- геоэкологическое обоснование освоения месторождений полезных ископаемых в условиях Крайнего Севера;
- исследование физикохимии поверхностных явлений и межфазных взаимодействий в процессах флотационного, химического обогащения и биогидрометаллургической переработки минерального сырья природного и техногенного происхождения;
- применение сочетаний собирателей с различным химическим составом и молекулярной структурой для повышения селективности флотации минерального сырья;
- исследование и разработка научно-технологических решений, направленных на создание комбинированных технологий глубокого обогащения труднообогатимых руд черных, цветных, редких и благородных металлов горно-химического и техногенного сырья, основанных на сочетании процессов флотации, гравитации, магнитной и электрической сепарации с гидрометаллургическими;
- проектирование систем комплексного мониторинга на горнодобывающих предприятиях;
- разработка автоматизированных систем сбора, обработки и анализа информации о состоянии горнотехнических объектов;



- разработка научно обоснованных предложений по созданию интегрированных систем повышения энергоэффективности и энергосбережения угледобывающих производств;
- научное сопровождение освоения подземного пространства мегаполисов;
- определение физических свойств горных пород и минералов;
- управление и целенаправленное изменение свойств горных пород различными физическими полями;
- лазерно-ультразвуковая диагностика структуры и свойств геоматериалов;
- исследования эффектов памяти различной физической природы в горных породах и разработка на этой основе методов контроля напряженно-деформированного состояния массивов;
- разработка методов геоконтроля на основе термостимулированной акустической эмиссии;
- исследования эффектов памяти в композиционных материалах и их использование для целей геоконтроля;
- разработка новых, безопасных технологий взрывных работ;
- разработка новых типов взрывчатых веществ и средств инициирования;
- исследование взрывных характеристик взрывчатых материалов;
- определение безопасных параметров взрывных работ при использовании различных типов ВВ.

В течение 2019 года подразделения Горного института НИТУ «МИСиС» были выполнены научно-исследовательские работы по тематикам, охватывающим обогащение полезных ископаемых, оценка качественных показателей углей, обеспечение промышленной и экологической безопасности на горных предприятиях. Ниже представлен перечень некоторых из выполненных работ.

- Опытно-промышленные испытания технологии переработки титан-циркониевых песков Восточного участка Центрального месторождения (Тамбовская область) и разработка технологического регламента (лабораторная часть испытаний)».
- Проведение независимого комплексного аудита (анализа) научно-исследовательских, предпроектных и проектных работ в рамках создания объектов горно-обогажительного производства (обогажительная фабрика) на базе Приморского месторождения АО «КЯК».
- Проведение лабораторных исследований по разработке технологии получения гравитационного и флотационного концентратов из проб песков Нижнего и Верхнего участков техногенной россыпи р. Щучье».
- Исследование закономерностей акустической эмиссии мерзлых грунтов при их переменном механическом нагружении и циклическом нагреве.
- Разработка метода контроля критических изменений напряженно-деформированного состояния.
- Формирование природно-технических систем разработки месторождений твердого минерального сырья на основе конвергентных технологий.
- Разработка комплексной системы контроля безопасности эксплуатации горнотехнических сооружений.
- Разработка методики шихтоподготовки руды в карьере с учетом использования ЦПТ (совместно с филиалом в г.Губкин).

В 2019 годы сотрудниками НИТУ «МИСиС» по вопросам добычи и переработки полезных ископаемых издано более ста статей в журналах, входящих в базы Scopus и Web of Science.

1. Yushina, T.I., Krylov, I.O., Valavin, V.S., (...), D'Elia, K., Myaskov, A.V. Processing technology of iron-containing industrial waste from the Kamysh-Burun mining complex // 2019. IMPC 2018 – 29th International Mineral Processing Congress, p. 3103-3112.

2. Yushina, T.I., Purev, B., D'Elia, K., Namuungerel, B. Analysis of technological schemes and substantiation of the selection of the reagent regimes for copper molybdenum ores flotation // 2019. Non-ferrous Metals, № 46(1), с. 3-11.

3. Foucaud, Y., Filippova, I.V., Filippov, L.O. Investigation of the depressants involved in the selective flotation of scheelite from apatite, fluorite, and calcium silicates: Focus on the sodium silicate/sodium carbonate system // 2019. Powder Technology, № 352, с. 501-512.

4. Filippov, L.O., Filippova, I.V., Lafhaj, Z., Fornasiero, D. The role of a fatty alcohol in improving calcium minerals flotation with oleate // 2019. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, № 560, с. 410-417.

5. Foucaud, Y., Badawi, M., Filippov, L.O., Filippova, I.V., Lebègue, S. Synergistic adsorptions of Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> and Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> on calcium minerals revealed by spectroscopic and Ab initio molecular dynamics studies // 2019. *Chemical Science*, № 10(43), c. 9928-9940.
6. Foucaud Y, Filippova I, Dehaine Q, Hubert P, Filippov L Integrated approach for the processing of a complex tungsten Skarn ore (Tabuaco, Portugal) // 2019. *Minerals Engineering*, № 143.
7. Geneyton, A., Filippov, L.O., Renard, A., Mallet, M., Menad, N. Advances in carboxylate collectors adsorption on monazite surface: Part 1 – Assessment of the hydroxylation and carbonation of surface lanthanide ions // 2019. *Applied Surface Science*, № 485, c. 283-292.
8. Foucaud, Y., Dehaine, Q., Filippov, L.O., Filippova, I.V. Application of falcon centrifuge as a cleaner alternative for complex tungsten ore processing // 2019. *Minerals*, № 9(7), 448.
9. Filippov, L.O., Kaba, O.B., Filippova, I.V. Surface analyses of calcite particles reactivity in the presence of phosphoric acid // 2019. *Advanced Powder Technology*, № 30(10), c. 2117-2125.
10. Filippov, L., Farrokhpay, S., Lyo, L., Filippova, I. Spodumene flotation mechanism // 2019. *Minerals*, № 9(6), 372.
11. Foucaud, Y., Fabre, C., Demeusy, B., Filippova, I.V., Filippov, L.O. Optimisation of fast quantification of fluorine content using handheld laser induced breakdown spectroscopy // 2019. *Spectrochimica Acta – Part B Atomic Spectroscopy*, № 158, 105628.
12. Foucaud, Y., Badawi, M., Filippov, L., Filippova, I., Lebègue, S. A review of atomistic simulation methods for surface physical-chemistry phenomena applied to froth flotation // 2019. *Minerals Engineering*, № 143, 106020.
13. Dehaine, Q., Foucaud, Y., Kroll-Rabotin, J.-S., Filippov, L.O. Experimental investigation into the kinetics of Falcon UF concentration: Implications for fluid dynamic-based modeling // 2019. *Separation and Purification Technology*, № 215, c. 590-601.
14. Chanturiya, V., Dvoichenkova, G., Morozov, V., Podkamenny, Y., Kovalchuk, O. The mechanism of formation of finely dispersed minerals on the surface of diamonds and the application of electrolysis products of water systems for their destruction // 2019. *Inzynieria Mineralna*, № 1, c. 53-57
15. Dvoichenkova, G., Chanturiya, V., Morozov, V., Podkamenny, Y., Kovalchuk, O. Analysis of distribution of secondary minerals and their associations on the surface of diamonds and in derivative products of metasomatically altered kimberlites // 2019. *Inzynieria Mineralna*, № 1, c. 43-46.
16. Yushina, T.I., Purev, B., Yanes, K.S.D., Malofeeva, P.R. Improvement of porphyry copper flotation efficiency with auxiliary collectors based on acetylene alcohols // 2019. *Eurasian Mining*, № 1, c. 25-30.
17. Dehaine, Q., Filippov, L.O., Glass, H.J., Rollinson, G. Rare-metal granites as a potential source of critical metals: A geometallurgical case study // 2019. *Ore Geology Reviews*, № 104, c. 384-402.
18. Nikitenko, E.M., Evtushenko, M.B., Yushina, T.I. Improving the assay test for the degdekan deposit ores // 2019. *Obogashchenie Rud*, № 1, c. 34-38.
19. Ignatkina, V.A., Shepeta, E.D., Samatova, L.A., Milovich, F.O. Flotation of ? sheelite-carbonate ore with wide range of carbonate module // 2019. *IMPC 2018 – 29th International Mineral Processing Congress*, c. 1014-1025.
20. Koporulina, E.V., Ryazantseva, M.V., Chanturiya, E.L., Zhuravleva, E.S. New AFM and FTIR data on adsorption of butyl xanthate on sulfide minerals under treatment with water electrolysis products // 2019. *IMPC 2018 – 29th International Mineral Processing Congress*, c. 70-78.
21. Bocharov, V.A., Yushina, T.I., Ignatkina, V.A., Kayumov, A.A., Petrov, I.M. On the selection of technologies of comprehensive processing of ores of nonferrous and rare metals based on penetrative disclosure of minerals comprehensive processing // 2019. *IMPC 2018 – 29th International Mineral Processing Congress*, c. 1214-1221.
22. Yushina, T.I., D'Elia, K., Malyshev, O.A., Ogrel, L.D., Petrov, I.M. Flotation of gold-bearing non-ferrous ores with acetylene alcohol-based reagents // 2019. *IMPC 2018 – 29th International Mineral Processing Congress*, c. 1425-1433.
23. Kayumov, A.A., Aksenova, D.D., Belokrysov, M.A., Malofeeva, P.R. Effect of sodium thiosulfate on the floatability of tennantite and pyrite // 2019. *Tsvetnye Metally* № 3, c. 7-13.
24. Nikolaev, A.A. Flotation recovery of toner containing iron oxide from water suspension // 2019. *Minerals Engineering* № 144, 106027.
25. Babich A., Vinnikov V. Experimental investigations of structural changes of pyrite-containing ores mineral grains in the microwave fields // *Mining Informational and Analytical Bulletin*, 2019, № 6, pp. 106-114.

26. Barinov A., Eremenko V., Filatov A., Bazin A. Pilot trials of high-tensile MINAX mesh as surface support in Kirov and Taimyr mines // *Gornyi Zhurnal*, 2019, № 1, pp. 22-27.
27. Cherepetskaya E., Sas I., Makarov V., Kravcov A. Studying internal structure of quartz by broadband ultrasonic tomography under cyclic compression // *Journal of Physics: Conference Series*, 2019, 1172.
28. Galchenko Y., Eremenko V. Model representation of anthropogenically modified subsoil as a new object in lithosphere // *Eurasian Mining*, 2019, № 2, pp. 3-8.
29. Galchenko Y., Leizer V., Vysotin N., Yakusheva E. Procedure justification for laboratory research of secondary stress field in creation and application of convergent technology for underground mining of rock salt // *Mining Informational and Analytical Bulletin*, 2019, № 11, pp. 35-47.
30. Gupalo V.S. Spatial characterization of the physical process parameters in rock mass during construction of the underground facility for the RW disposal // *Russian Journal of Earth Sciences*, 2019, № 6, p.19.
31. Khloptsov D., Vinnikov V. Determination of rock pressure on lining of wells // *Mining Informational and Analytical Bulletin*, 2019, № 8, pp. 74-82.
32. Kosyreva M., Eremenko V., Gorbunova N., Tereshin A. Support design using unwedge software for mines of nor nickel's polar division // *Mining Informational and Analytical Bulletin*, 2019, № 8, pp. 57-64.
33. Kravcov A., Shibaev I., Sizikov M., Pavlov I., Zarubin V., Arrigoni M., Pospichal V., Zharinov A. Investigation of metal damage by ultrasonic broadband spectroscopy // *Journal of Physics: Conference Series*, 2019, 1172.
34. Kravtsov A., Ivanov P., Malinnikova O., Cherepetskaya B., Gapeev A. Laser-ultrasonic spectroscopy of the Pechora basin coal microstructure // *Mining Informational and Analytical Bulletin*, 2019, № 6, pp. 56-65.
35. Mal'kovskii VI, Yudin'tsev SV, Gupalo VS Assessment of the Safe Isolation of Solid Radwaste in Subsurface Repositories // *Atomic Energy*, 2019, № 2, pp. 116-123.
36. Maloletnev A., Smagulova N., Kairbekov Z., Kairbekov A., Kudreeva L. Hydrogenation of the Naphthalene Fractions of Coal Tar from Coal of the Shubarkol Deposit // *Solid Fuel Chemistry*, 2019, № 1, pp. 43-47.
37. Morozov N., Sizikov M., Shibaev I., Zarubin V. Measuring the macrorelief of a solid surface using broadband ultrasonic profilometry // *Topical Issues of Rational Use of Natural Resources – Proceedings Of The International Forum-Contest of Young Researchers*, 2018, pp. 271-276.
38. Nabatov V. Detection of voids behind lining in metro tunnels by spectral attributes of q-factor in the lining-soil system vibrations // *Gornyi Zhurnal*, 2019, № 7, pp. 67-70.
39. Nikolenko P. Hardware and methodological support of complex stress-strain state monitoring of rock massif using memory effects in elastic compositive sensors // *Mining Informational and Analytical Bulletin*, 2019, № 2, pp. 97-104.
40. Nikolenko P. Methodical aspects of determination of thermobaric effects on ultrasonic vibration velocity in rocks // *Mining Informational and Analytical Bulletin*, 2019, № 9, pp. 160-167.
41. Nikolenko P., Shkuratnik V., Chepur M. Acoustic emission effects in tension of composites and practical applications for roof control in underground mines // *Gornyi Zhurnal*, 2019, № 1, pp. 13-16.
42. Novikov E., Shkuratnik V., Zaytsev M. Manifestations of acoustic emission in frozen soils with simultaneous influence of variable mechanical and thermal effects on them // *Journal of Mining Institute*, 2019, № 238, pp. 383-391.
43. Rumiantsev B., Mareev E., Bychkov A., Makarov V., Karabutov A., Cherepetskaya E., Potemkin F. Photoacoustic and optical imaging of the femtosecond filament in water // *Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering*, 2019, 11026.
44. Sergunin M., Eremenko V. Determining parameters of original stress field in rock mass in zapolyarny mine // *Mining Informational and Analytical Bulletin*, 2019, № 4, pp. 63-74.
45. Sergunin M., Eremenko V. Learning of neural network to predict overlying rock mass displacement parameters by the data on jointing in terms of the Zapolyarny Mine // *Mining Informational and Analytical Bulletin*, 2019, № 10, pp. 106-116.
46. Solov'Ev V., Shvedov I. The Concept of Improving the Efficiency of Explosive Energy Converters // *Journal of Physics: Conference Series*, 2019, 1172.
47. Trubetskoy K., Myaskov A., Galchenko Y., Eremenko V. Creation and justification of convergent technologies for underground mining of thick solid mineral deposits // *Gornyi Zhurnal*, 2019, № 5, pp. 6-13.

48. Vavilov V., Karabutov A., Chulkov A., Derusova D., Moskovchenko A., Cherepetskaya E., Mironova E. Comparative study of active infrared thermography, ultrasonic laser vibrometry and laser ultrasonics in application to the inspection of graphite/epoxy composite parts // Quantitative InfraRed Thermography Journal, 2019.

49. Vozsensenskii A., Krasilov M., Kutkin Y., Tavostin M. Reliability increasing of an estimation of rocks strength by non-destructive methods of acoustic testing due to additional informative parameters // Minerals, Metals and Materials Series, 2019.

50. Vysotin N., Kosyreva M., Leyzer V., Aksenov Z. Design rationale for engineering multipurpose bench for physical simulation of geomechanical processes in secondary stress fields under conditions of mining with convergent geotechnologies // Mining Informational and Analytical Bulletin, 2019, № 10, pp. 131-145.

51. Yanchenko G. Coefficients of loosening and swelling of rocks // Mining Informational and Analytical Bulletin, 2019, № 2, pp. 206-213.

52. Zarubin V., Bychkov A., Simonova V., Cherepetskaya E., Karabutov A. Broadband immersion laser ultrasonic tomography of graphite-epoxy composite // Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering, 2019, 11210.

53. Zarubin V., Bychkov A., Zhigarkov V., Karabutov A., Cherepetskaya E. Model-based measurement of internal geometry of solid parts with sub-PSF accuracy using laser-ultrasonic imaging // NDT and E International, 2019, 105, pp. 56-63.

54. Pleshko, M.S., Sil'chenko, Yu.A., Pankratenko, A.N., Nasonov, A.A. Improvement of the analysis and calculation methods of mine shaft design. Mining Informational and Analytical Bulletin 2019, (12):5566. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-12-0-55-66.

Компании-партнеры Горного института НИТУ «МИСиС»: АО «МХК «ЕвроХим», ГК «Норильский никель», Сандвик, ФОСАГРО, ПАО «Северсталь», АО «Полиметалл», ПАО «Мечел», ПАО «ЕвразХолдинг», Навоийский ГК, ГОК «Эрдэнэт», Корпорация «Казахмыс», «Казцинк», АО «Мосметрострой», «Мосинжпроект», «Лебединский ГОК», «Михайловский ГОК», «ЕвроХим – Усольский калийный комбинат», АО «СУЭК», АК «АЛРОСА», АО «СУЭК-Хакасия», АО «СУЭК-Красноярск», АО «СУЭК-Кузбасс», АО «Ургалуголь», АО ГК «Титан», ОАО «Гипроцветмет», ОАО Банк Уралсиб, Micromine, Datamine, ESRI.

Разработки ученых Горного института НИТУ «МИСиС» используются на ведущих предприятиях горно-металлургической отрасли России, стран СНГ и ряда других государств.

## **2.20. РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ СЕРГО ОРДЖОНИКИДЗЕ**

### **Результаты научно-исследовательской работы на факультете Технологии разведки и разработки**

#### *1. Кафедра Горного дела*

Завершена 3-х летняя НИР по Государственному заданию №26.8237.2017/5 от 27.01.2019 г. «Разработка концептуальных основ, методических положений и рекомендаций по созданию, функционированию и развитию системы управления инновациями на корпоративном и отраслевом уровнях в сфере недропользования (воспроизводственный, научно-технический, кадровый аспект)».

В 2019 г. выполнен заключительный этап указанной НИР **«Разработка рекомендаций и предложений по формированию, функционированию и развитию отраслевой инновационной системы (в сфере недропользования)»**.

Исполнители: гл.н.сотр., проф., д.э.н. Лисов В.И. – научный руководитель, гл.н.сотр., проф., д.т.н. Брюховецкий О.С. – ответственный исполнитель, с.н.с., к.э.н. Бобылов Ю.А., гл.н.сотр., д.э.н. Лунькин А.Н., м.н.с. Севостьянов Н.А.

В научном отчете по теме дано обоснование принципов и методических положений по совершенствованию управления инновациями на корпоративном, отраслевом и межотраслевом уровнях применительно к сфере недропользования.

Уточняются приоритеты и более эффективные принципы и механизмы управления инновациями в сфере недропользования России; разработаны рекомендации по увязке основных

целей промышленной политики с инновационным развитием экономики; предложены принципы совершенствования системы управления инновациями в недропользовании в контексте конкурентного научно-технологического развития минерально-сырьевого комплекса; указаны новые инновационные миссии и задачи перспективного развития «МГРИ»; обоснована необходимость повышения роли Федерального агентства по недропользованию и АО «Росгеология» в инновационных процессах с участием ведущих университетов Минобрнауки России; приведены методические и адресные организационно-управленческие рекомендации, для Минобрнауки России, Минприроды России и других министерств и ведомств.

Авторами показаны важнейшие проблемы в сфере НИОКР и в специфической инновационной политике в российском недропользовании и пути их решения.

Уточнены отраслевые условия создания новых инновационных организационных структур в системе МСК России; возможность привлечения иностранных компаний в сферу прикладной геологоразведки и в освоение новых месторождений полезных ископаемых.

Общие положения инновационных и инвестиционных задач в недропользовании России конкретизированы на примере промышленного освоения месторождений редких и редкоземельных металлов, многие из которых имеют растущий спрос на мировых рынках металлов и сплавов.

В системе МСК России организация инновационного процесса специфична в силу высоко затратной производственной деятельности крупных и средних добывающих компаний и экспорта добываемого сырья при невысокой технологичной обработке. Модернизация производства идет преимущественно за счет закупок иностранного оборудования. Потому акцент рекомендаций направлен на интенсификацию в МСК России инновационного и инвестиционного процессов и обоснование ряда назревших отраслевых и межотраслевых рекомендаций.

Актуален раздел отчета, посвященный вопросам обеспечения конкурентности и экономической безопасности крупных и средних компаний в условиях экономических санкций США и стран Евросоюза.

Одной из целей проведения НИР является разработка рекомендаций по конкурентоспособности профессионального образования в системе ресурсных технических университетов. Однако инновационная активность многих предприятий минерально-сырьевого комплекса России отстает от достижений в зарубежной практике (Австралия, Канада, США и др.). Масштабы НИР и ОКР в научных организациях также отстают от требований конкурентности производства. Все это в итоге сказывается и на качественном профессиональном образовании в высшей школе.

Развитие инновационной системы в МСК России имеет ряд специфических задач, наиболее полно решаемых в экспортно-ориентированном нефтегазовом бизнесе. В отчете НИР приводятся концептуальные рекомендации по развитию «отраслевой инновационной системы» в сфере недропользования. В этом инновационном процессе решающее значение принадлежит более масштабному бюджетному и корпоративному финансированию НИОКР.

В заключительной главе отчета НИР приведены некоторые актуальные нормативно-методические материалы отраслевого инновационного характера применительно к МСК России. Так подчеркивается необходимость разработки «Горного кодекса Российской Федерации» в обеспечение требований ФЗ «О недрах»; приводятся конкретные адресные рекомендации для повышения уровня инновационности в МСК России и сложившейся системы высшего профессионального образования в части интеграции ресурсных университетов с органами государственного управления в МСК России, промышленными компаниями и научными организациями.

В итоге анализа показаны особенности возможного построения **«Инновационной системы недропользования России»** («ИСНР»), включающей:

- механизмы инноваций для воспроизводства минерально-сырьевой базы;
- организацию прикладных НИОКР и инноваций;
- инвестиционные аспекты обновления технологической базы в МСК России;
- подготовку кадров для активизации инновационного процесса;
- интеграционные задачи и процессы системы «Производство-Наука-Профессиональное образование»;
- совершенствование инновационного и инвестиционного законодательства в России и др.



Создание «ИСНР» следует рассматривать, как одну из главных составляющих стратегического планирования в МСК России.

По результатам НИР, в «Горном журнале» №10, 2019 г. опубликована статья Лисов В. И., Брюховецкий О. С., Бобылов Ю. А., Лунькин А. Н. «**Инновационные аспекты формирования новых интегрированных структур в горном бизнесе России**», в которой изложены результаты научных исследований, проведенных МГРИ в 2011–2017 гг., по вопросам интеграции образования, науки, производства. Сформулированы основные принципы совершенствования интеграционных процессов в недропользовании, определены ключевые условия создания стратегических альянсов организаций образования, науки, производства. Даны рекомендации по совершенствованию организационно-экономических механизмов проектирования и функционирования интегрированных структур инновационного типа.

Выполнена хоз. договорная работа на тему: «**Разработка методики пыле-газоподавления при производстве массовых взрывов для снижения выбросов на 10%**».

Научный руководитель и отв. исполнитель С.В.Иляхин.

Исполнители: доценты Ганин И.П., Яшин В.П., студенты-препараторы Файрузов В.М., Янсаитова Г.Р.

В работе представлены результаты анализа научных литературных источников (публикаций, диссертаций, отчетов НИР) по проблеме пыле- и газоподавления при производстве массовых взрывов на открытых горных работах начиная с 50-х годов прошлого века и по настоящее время. Изложены способы пылеулавливания, приведен перечень оборудования для пылеподавления, способы и методы пылеподавления при ведении буровзрывных работ на карьерах.

В работе проанализировано влияние параметров БВР на образование пыли и ядовитых газов при взрывах, условия проведения и результаты экспериментальных взрывов на Лебединском ГОКе по снижению пылеобразования при производстве массовых взрывов, дана оценка пылевой обстановки при подготовке блоков к массовым взрывам и после взрывов, предложены рекомендации по улучшению санитарного состояния атмосферы после массовых взрывов, приведена методика газо- и пылеподавления при производстве массовых взрывов на Лебединском ГОКе, обеспечивающая при использовании на карьере снижение пылевой и газовой нагрузки на атмосферу карьера.

Даны рекомендации по использованию существующих методов и способов для пылеподавления при ведении взрывных работ на Лебединском ГОКе.

Проведённые исследования представляют практический интерес и являются основой для разработки методики по пыле- и газоподавлению при производстве массовых взрывов.

## *2. Кафедра Геотехнологических способов и физических процессов горного производства.*

На кафедре геотехнологических способов и физических процессов горного производства научные исследования проводятся в рамках диссертационных работ по специальности 25.00.22 Геотехнология (открытая, подземная, строительная) аспирантами 2 года обучения Салаховым И.Н. и Некоз К.С., ведущими исследования по темам «Совершенствование технологии кучного выщелачивания на основе формирования штабеля гидромеханизированным способом» и «Повышение эффективности разработки месторождений полезных ископаемых на основе обоснования применения системы оперативного контроля режимов работы гидротранспортного оборудования».

В 2019 году выполнена аналитическая оценка уравнений пересчета расходно-напорных характеристик с воды на гидросмесь ( $Q=f(H)$ ), предложенных многими известными специалистами и учеными (Смолдырев А.Е., Животовский Л.С., Шкундин Б.М., Спиваковский А.О., Веденев Б.Е., Харин А.И., Нурок Г.А., Холин Н.Д., Славутский С.О., Юфин А.П., Карасик В.М., Буржес К.Е.) для грунтонасосов ГрТ-1600/50; ГрТ 2000/63 и землесоса ЗГМ-2М. Результаты расчетов показывают значительные расхождения между анализированными функциональными зависимостями ( $Q=f(H)$ ) достигающие до 68%. Поэтому они были сопоставлены с данными тестирования этих агрегатов, проведенные кафедрой в производственных условиях. На основании этих исследований предложен оптимальный метод расчета расходно-напорных характеристик для работы на гидросмеси упомянутых грунтонасосов. Это позволяет предотвратить существенные ошибки и корректно вести проектирование и эксплуатацию при гидромеханизованном способе разработки и процессах обогащения минерального сырья.

В 2019 году на основе аналитических исследований известных измерительных устройств (расходомеров) переменного перепада давлений предложен и научно-технически обоснован гидродинамический расходомер типа трубы Антивентури. Разработан метод расчета параметров расходомера, предложено уравнение, позволяющее корректно определить производительность грунтонасосов при гидротранспортировании твердых материалов. Результаты измерений, с погрешностью до 1,5-1,8% по сравнению со сравнительно более известным аналогом трубой Вентури (2,5-3,7%) позволяют применить его при гидромеханизированной разработке месторождений полезных ископаемых и в процессах обогащения минерального сырья.

## **2.21. САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

### **НАПРАВЛЕНИЕ: ГОРНОЕ ДЕЛО**

#### **Многокритериальная оценка несущей способности геоматериалов**

Известно, что изучение несущей способности геоматериалов является актуальным разделом горного дела. Проблема изучения горных пород состоит в том, что они имеют сложный состав и обладают очень разнообразными реологическими свойствами. Поэтому разработка новых инженерных методов оценки несущей способности геоматериалов является весьма актуальной.

В серии работ [1-3] проф. Бригаднов И.А. предлагается оригинальный подход к оценке несущей способности геоматериалов, основанный на многокритериальном подходе. В рамках этого подхода проводится анализ несущей способности конечного образца из геоматериала в отсчетной недеформированной или актуальной деформированной конфигурациях. Для этого используется вариационный подход к решению задачи в напряжениях в выбранной контрольной подобласти, в которой, в зависимости от инженерных соображений, оцениваются среднеквадратичные значения любых компонент напряжений и по их совокупности делается вывод о несущей способности текущей конфигурации образца по отношению к заданным внешним воздействиям. Предлагаемый подход принципиально отличается от классического метода жесткопластического анализа несущей способности отсчетной конфигурации твердого тела, в рамках которого используется только один точечный критерий максимальной интенсивности касательных напряжений. Недостатком классического метода, от которого свободен предлагаемый подход, является неопределенность поля напряжений в жестких подобластях тела.

В работах [2,3] подробно описываются прямые методы численного решения вариационной задачи в напряжениях для многокритериальной оценки несущей способности геоматериалов. К прямым методам относятся метод рядов Фурье и вариационно-разностный метод решения задачи в напряжениях. В этих же работах приводятся аналитические и численные примеры, показывающие содержательность предлагаемого подхода. Результаты исследования планируются реализовать в САЕ-системах (САПР) SIMULIA/Abaqus или Ansys.

#### **Список литературы**

1. Бригаднов И.А. Многокритериальная оценка несущей способности геоматериалов // Записки горного института. – 2016. – Т. 218. – С.289-295 (*Web of Science*).
2. Бригаднов И.А. Прямые методы решения вариационной задачи для многокритериальной оценки несущей способности геоматериалов // Записки Горного института. – 2018. – Т. 232. – С. 368-374 (*Web of Science*).
3. Brigadnov I.A. Multi-criteria estimation of load-bearing capacity of solids // Journal of Elasticity, 2020, doi:10.1007/s10659-019-09762-8 (*SCOPUS, Q1*).

#### **Технология производства шахтного смачивателя для повышения эффективности пылеподавления в угольных шахтах**

Изобретение может быть использовано для повышения эффективности пылеподавления в угольных шахтах с целью снижения концентрации витающей пыли в области дыхания горнорабочих.

Техническим результатом является разработка технология производства состава шахтного смачивателя.

Технический результат достигнут тем, что технология предусматривает операции дробного дозирования предлагаемых компонентов, взятых в рекомендуемых пропорциях, подачу воды, 4-е стадии размешивания и розлив готового продукта. В качестве смачивателя отличается тем, что представляет собой смесь неоновых и амфотерных поверхностно-активных веществ.

Предлагаемый к производству шахтный смачиватель отличается от аналогов высокой смачивающей способностью, позволяющей повысить скорость увлажнения и осаждения угольной и углепородной витающей пыли, экологичностью и безвредностью для человека.

Предлагаемая технология может быть реализована на базе угледобывающей компании для обеспечения шахтным смачивателем угольных шахт и иных производственных объектов с источниками интенсивного пылевыделения угольной и углепородной пыли. Производство шахтного смачивателя с улучшенными характеристиками будет востребовано в ближайшей перспективе (3-5 лет), т.к. основные применяемые в настоящее время методы по борьбе с угольной пылью (орошение, предварительное увлажнение, создание водяных завес, туманообразование) основаны на использовании воды. При этом в большинстве случаев для повышения эффективности проводимых мероприятий согласно требованиям нормативных документов, используются растворы поверхностно-активных веществ (шахтные смачиватели). С учетом годовой потребности в смачивателе от 40 до 90 т и более по одной шахте, количества действующих угольных шахт и иных угледобывающих объектов, на которых возможно использование поверхностно-активных веществ, предлагаемая технология будет востребована в перспективе.

Технология производства шахтного смачивателя отличается простотой реализации, низкими капитальными затратами и невысоким сроком окупаемости.

### **Разработка эффективных мероприятий по пылеподавлению на автомобильных дорогах угольных разрезов**

Изобретение может быть использовано для повышения эффективности противопылевых мероприятий на автомобильных дорогах при ведении открытых горных работ.

Технический результат заключается в повышении эффективности смачивания породной и угольной пыли, отлагаемой на поверхности автомобильных дорог разрезов, за счет увеличения продолжительности эффективного действия пылезакрепляющего состава улучшения смачиваемости поверхности частиц пыли, а также обеспечении возможности склеивания частиц пыли с образованием пленки.

Технический результат был достигнут тем, что на пылящие поверхности автомобильных дорог угольных разрезов стандартными поливирозитными машинами наносится водный раствор смеси, включающей масляные компоненты природного происхождения, а также биоразлагаемые отходы нефтяного происхождения, обладающие значительным адгезионным потенциалом.

Результаты лабораторных экспериментов включали оценку периода высыхания смоченной поверхности, адгезионной способности раствора к пылящей поверхности, а также прилипаемость смоченного пылящего материала к колесам.

Период высыхания оценивался визуально при достижении влажности поверхности с помощью обыкновенных часов при заданных микроклиматических параметрах при создании искусственного ветрового воздействия с помощью воздуходувки. Исследование адгезионных свойств разработанного раствора для определения степени налипания на колеса карьерного автотранспорта и разрушения связывающего слоя осуществлялось с помощью динамометра ДОСМ-3. Динамометр пластиной вниз помещался на модель дороги, только что покрытую исследуемым раствором. После застывания раствора производился отрыв динамометра от поверхности модели и регистрировалось изменение показаний величины деформации в мм от начального значения, связанного с дополнительной нагрузкой на динамометр от пластины. По зарегистрированной разнице показаний и тарировочной таблице методом линейной интерполяции определялась фактическая нагрузка отрыва пластины от поверхности модели в кг. Прилипаемость смоченного пылящего материала к колесам оценивалась по разнице масс модели

БЕЛАЗа в масштабе 40:1 до эксперимента (с чистыми колесами) и после челночной езды по модели дорожного полотна в течение 30 сек. через 30 мин. после нанесения раствора на пылящую поверхность.

Разработанный состав для пылеподавления на автомобильных дорогах обладает следующими преимуществами:

- длительный характер действия (более 72 часов после нанесения);
- экологичность, так как все входящие компоненты имеют природное происхождение и биоразлагаемы;
- невысокая стоимость, особенно в условиях Кемеровской области, где выращиваются или производятся все входящие в смесь компоненты.

Разработанный состав для пылеподавления на автомобильных дорогах способствует снижению фоновой запыленности в угольных разрезах, тем самым уменьшая пылевую нагрузку на горнорабочих.

### **Способ снижения вредных выбросов в двигателях внутреннего сгорания**

Изобретение относится к эксплуатации дизельных двигателей, в частности к снижению содержания токсичных компонентов (оксидов азота, углекислого газа, угарного газа) в отработанных газах дизельных двигателей.

Техническим результатом является снижение вредных выбросов в двигателях внутреннего сгорания, а именно оксидов азота, углекислого газа и угарного газа за счет введения добавки, повышающей полноту сгорания дизельного топлива.

Технический результат достигается тем, что в качестве добавки к дизельному топливу используют смесь эфиров, полученных реакцией переэтерификации растительного масла и спирта, количество которой в смеси с нефтяным дизельным топливом достигает 10 % масс., при этом массовое соотношение при смешивании полученных компонентов составляет:

Нефтяное дизельное топливо – 90 – 99;

Добавка – 1 – 10.

В качестве растительных масел могут быть использованы любые растительные (пищевые и не пищевые) масла, а в качестве спиртов – любые органические спирты (одноатомные и многоатомные).

Эффективность предлагаемого состава доказана лабораторными и промышленными испытаниями. Были проведены исследования по определению количества выбросов на дизель-гидравлическом локомотиве Ferrit 110F, а также на стендовом дизельном двигателе.

Результатом стало уменьшение количества оксидов азота, углекислого газа и угарного газа на выхлопе дизельного двигателя.

Недостатками известных способов являются недостаточное снижение содержания токсичных компонентов в отработанных газах, соответствующего требованиям норм, дисперсная система может не полностью сгорать в камере сгорания, а также ухудшать физико-химические характеристики топлива, сложная многоступенчатая технология, которая требует дополнительных дорогостоящих конструкций и долгой обработки отработавших газов.

По физико-химическим показателям (плотность при 20°C, кинематическая вязкость при 40°C, температура застывания, температура вспышки в закрытом тигле) смеси с соотношением компонентов 1 : 99% масс., 5 : 95% масс., 10 : 90% масс. (биодобавка: дизельное топливо) удовлетворяют российскому стандарту ГОСТ Р 52368 (таблица 2 – физико-химические свойства дизельного топлива с добавкой по прототипу и предлагаемому изобретению).

При введении 1% добавки количество оксидов азота в отработанных газах снижается на 0-5% по сравнению с выбросами нефтяных дизельных топлив в зависимости от нагрузки двигателя (различное число оборотов), количество угарного газа в отработанных газах снижается на 16-70% и количество углекислого газа в отработанных газах снижается на 35-38%.

При введении 5% добавки количество оксидов азота в отработанных газах снижается на 17-83% по сравнению с выбросами нефтяных дизельных топлив в зависимости от нагрузки двигателя (различное число оборотов), количество угарного газа в отработанных газах снижается на 61-92% и количество углекислого газа в отработанных газах снижается на 49-52%.

При введении 10% добавки количество оксидов азота в отработанных газах снижается на 17-83% по сравнению с выбросами нефтяных дизельных топлив в зависимости от нагрузки двигателя (различное число оборотов), количество угарного газа в отработанных газах снижается на 61-92% и количество углекислого газа в отработанных газах снижается на 49-52% .

Предлагаемый способ позволяет снизить концентрацию вредных веществ в отработанных газах и улучшить экологические характеристики дизельного топлива.

## НАПРАВЛЕНИЕ: ГЕОЭКОЛОГИЯ

### **Разработка дистанционных методов оценки и прогноза состояния атмосферного воздуха на территориях горнопромышленных агломераций**

Оценка и прогноз состояния атмосферного воздуха в зоне воздействия производственных объектов горно-перерабатывающих предприятий следует осуществлять путем внедрения в систему экологического мониторинга дистанционных методов с применением беспилотных воздушных судов (БВС).

Разрабатываемые методы контроля и оценки качества компонентов окружающей среды на территориях горнопромышленных агломераций с применением беспилотных воздушных судов обеспечивают:

- 1) более высокую точность при построении ореолов распространения загрязнений в атмосфере;
- 2) измерение температуры окружающего воздуха с привязкой по высоте, что обеспечит идентификацию зон инверсии;
- 3) измерение давления/разрежения в зоне отбора пробы;
- 4) автоматизацию измерений.

На основании данных мониторинга с помощью БВС возможно выполнение научно-исследовательских задач по моделированию процессов распространения загрязняющих веществ в атмосферном воздухе.

Беспилотные средства при установке на них специализированной полезной нагрузки также возможно использовать при выполнении мониторинга участков акваторий, подверженных техногенному воздействию, что позволит выявить неорганизованные разливы углеводородного сырья и нефтепродуктов, а также обнаружить несанкционированные сбросы сточных вод.

Использование БВС при проведении мониторинга исследуемых земель позволит выявлять изменения в состоянии используемых земельных ресурсов и проводить их анализ в целях предупреждения, локализации и устранения последствий негативных процессов, а также для обновления кадастровых данных.

Комплекс на базе БВС, применяемый для контроля и оценки качества компонентов окружающей среды на территориях горнопромышленных агломераций, должен быть разработан и введен в эксплуатацию в соответствии с классом 1550 ЕКПС «Беспилотные комплексы и летательные аппараты».

По итогам исследований:

- Установлены закономерности формирования техногенных атмохимических ореолов, отражающие высотное распределение концентраций загрязняющих веществ в зависимости от метеорологических параметров, уровня техногенной нагрузки, типа и миграционной способности загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферный воздух при развитии эндогенных пожаров.

- Теоретически обоснована стратегия управления экологической безопасностью территорий горнопромышленных агломераций, базирующаяся на данных дистанционного производственного экологического мониторинга с моделированием экологической обстановки методом конечно-элементного анализа.

Значимость и прогноз применения:

- разработана методика дистанционного мониторинга качества атмосферного воздуха на территориях горнопромышленных агломераций с применением беспилотных авиационных систем (БАС);
- рассчитан технический риск развития эндогенных пожаров, выполнена оценка эколого-экономического ущерба, наносимого атмосферному воздуху как объекту охраны



- окружающей среды, и ущерба здоровью населения, вызванного загрязнением атмосферного воздуха;
- предложена стратегия управления экологической безопасностью Коркинского угольного разреза в период его ликвидации;
- выполнена оценка состояния атмосферного воздуха в зоне воздействия Коркинского угольного разреза АО «Русская медная компания».

## НАПРАВЛЕНИЕ: МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЭКОНОМЕТРИКА

### Модифицированный алгоритм прогнозирования финансово-экономических показателей деятельности предприятия на основе тренд-сезонных моделей

Предложенный алгоритм может быть использован для планирования финансово-хозяйственной деятельности на предприятиях с сезонным характером производства. Учет сезонности в деятельности таких предприятий имеет важное значение не только при планировании финансовых потоков от их операционной деятельности, но также и для планирования уплаты налогов (в соответствии с п.п. 5 п. 2 ст. 64 Налогового кодекса РФ и Постановлением Правительства РФ от 06.04.1999 № 382 (ред. от 25.02.2014)). Кроме того, фактор сезонности может учитываться при установлении корректирующего коэффициента базовой доходности K2.

В разработанном алгоритме построения тренд-сезонных моделей предлагается ряд модификаций математического и алгоритмического характера, позволяющих повысить его точность и удобство использования (юзабилити) по сравнению с типовым алгоритмом.

Основные модификации состоят в следующем:

1. Для аналитического подтверждения наличия во временном ряде сезонных колебаний предлагается использовать  $F$ -критерий. В типовом алгоритме для этого обычно рассчитываются индексы сезонности с последующим построением графика сезонной волны или рассчитываются коэффициенты автокорреляции с последующим построением коррелограммы. При ручном построении алгоритма использование  $F$ -критерия не дает заметных вычислительных преимуществ по сравнению с процедурами типового алгоритма, но при использовании табличных процессоров расчет упрощается в несколько раз благодаря использованию встроенных статистических функций.

2. Для сглаживания исходного временного ряда предлагается использовать не метод центрированной скользящей средней (реализован в типовом алгоритме), а полиномиальные модели до 3-й степени включительно. Преимущество этого способа состоит в том, что для сглаживания временного ряда задействуются все его уровни, в то время как при использовании центрированной скользящей средней часть уровней теряется. Это особенно негативно сказывается при исследовании «коротких» временных рядов. Например, при использовании центрированной скользящей средней применительно к временному ряду длительностью 2 года и с сезонными колебаниями периодичностью 12 месяцев будут потеряны 12 уровней из 24 (с первого по шестой и с девятнадцатого по двадцать четвертый уровни). Еще одним преимуществом сглаживания временного ряда полиномиальной моделью является отсутствие необходимости в четвертом этапе типовой процедуры фильтрации, так как в этом случае для аддитивной модели

выполняется условие  $\sum_{i=1}^m \bar{e}_i = 0$ , а для мультипликативной модели –  $\sum_{i=1}^m \bar{e}_i = 1$  ( $\bar{e}_i$  – усредненные значения временного ряда, отфильтрованного от тренда).

3. Корректировка сезонной компоненты  $s_i$  осуществляется на основе решения оптимизационной задачи (1) для аддитивной модели и оптимизационной задачи (2) – для мультипликативной модели:

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{T_0} \sum_{j=1}^k \frac{|\varepsilon_{ij}|}{y_{ij}} \rightarrow \min. \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^{T_0} s_i = 0.$$

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{T_0} \sum_{j=1}^k \frac{|\varepsilon_{ij}|}{y_{ij}} \rightarrow \min. \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^{T_0} s_i = T_0.$$

Практическая апробация предложенного алгоритма проведена на массивах данных финансовых результатов ряда предприятий, имеющих сезонный характер производства. Сравнительная оценка точности предложенного алгоритма с типовым алгоритмом построения тренд-сезонных моделей позволяет сделать вывод, что точность предложенного алгоритма в среднем выше на 1,5-2% (в качестве меры точности использовалась относительная ошибка аппроксимации), при этом трудоемкость построения модели на основе модифицированного алгоритма меньше, чем на основе типового алгоритма.

## НАПРАВЛЕНИЕ: НАУКИ О ЗЕМЛЕ

### Технология получения новых функциональных металлоуглеродных материалов

В Горном университете была разработана технология получения новых функциональных металлоуглеродных материалов. Технология состоит из отдельных элементов – операций, которые в зависимости от типа сырья формируют технологическую линию, которая включает рудоподготовку, флотационное обогащение с использованием селективных реагентов направленного действия на последовательных стадиях трансформации минерального сырья, ультразвуковую дезинтеграцию и выщелачивание. Основная особенность данной технологии – использование комплекса методов для оперативного анализа исходного вещества и физических воздействий (ультрафиолетовое воздействие, ультразвук, электромагнитное излучение) + комплекс активированных реагентов, что приводит к модифицированию исходной структуры поверхности минерала и изменению химического и ионного состава пульпы. Применение электромагнитной обработки для обработки исходной руды и флотационных концентратов позволяет «укрупнить» ультрадисперсные частицы благородных и редких металлов за счет эффекта коалесценции.

За счет микроволнового и высокотемпературного воздействия происходит декрепитация минералов и газовой-жидких включений и высвобождение кристаллохимической воды, приводящее к появлению дополнительных дефектов. За счет этого происходит самоочистка сульфидных минералов от атомов рассеянного золота путем отгона его в периферические части зерен и межзерновое пространство, где формируются ультрадисперсные индивиды. При этом возможно получение углеродных кластеров, добавка которых при переработке техногенного углеродсодержащего сырья (зола ТЭЦ, золошлаки) с использованием СВЧ позволяет переводить слабомагнитные компоненты в сильномагнитные формы и извлекать полученные компоненты методами магнитного обогащения в низкоинтенсивном магнитном поле. На этапе флотации применяется устройство, особенность которого заключается в распределенной подаче реагентов, что снижает потери ценного компонента. В результате получают несколько видов продуктов: концентраты, содержащие стратегические металлы.

При переработке углеродистого сырья разработанная технология дает возможность извлечения аллотропных модификаций углерода (графит, фуллерен, углеродные нанотрубки) в комплексе с благородными и редкими металлами с эффективностью более 96% при минимальных затратах.

Технология предназначена для горнопромышленных предприятий с целью получения конкурентоспособных углеродсодержащих материалов нового поколения, создания специальных видов функциональных материалов и сплавов, а также предприятий химической, космической и др. отраслей, использующих углеродсодержащие материалы и стратегические металлы. Элементы технологии могут быть тиражированы в других отраслях промышленности: в производстве строительных материалов и для интенсификации процессов дробления, измельчения и флотации.

### Сведения об опубликовании:

1. Aleksandrova, T. N., Nikolaeva, N. V., Lvov, V. V., Romashev, A. O. Ore processing efficiency improvements for precious metals based on process simulations. *Obogashchenie Rud*, 2019(2), 8-13. doi:10.17580/or.2019.02.02.

2. Патент РФ № 2713829 от 07.02.2020 «Способ прямой селективной флотации свинцово-цинковых руд», авторы: Александрова Т.Н., Романенко С.А., Кусков В.Б., Ушаков Е.К.

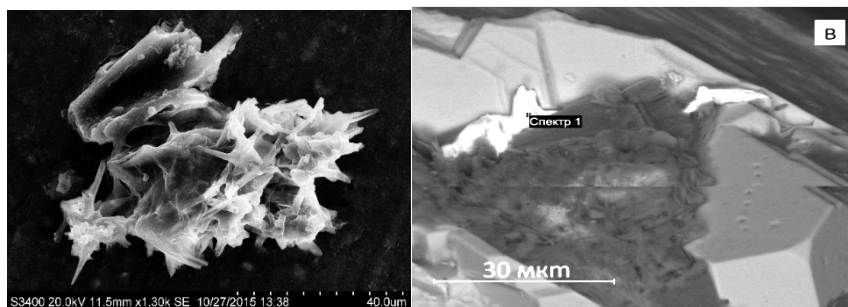


Рисунок – Микрофотографии укрупненных агрегатов благородных и редких металлов во флотационном концентрате

### НАПРАВЛЕНИЕ: ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОДЕЗИЯ

#### Программа для определения координат точки из линейной засечки с учетом систематических погрешностей измеряемых величин

Программа может применяться на различных геодезических предприятиях, в процессе обучения и подготовки кадров по специальностям 21.05.01 «Прикладная геодезия», 21.03.02 «Землеустройство и кадастры», при выполнении лабораторных работ по дисциплинам «Геодезия», «Прикладная геодезия». Программа позволяет реализовать разработанную авторами методику решения линейной засечки. Программа вычисляет верные координаты искомой точки, путем нормирования всех измеренных величин относительно первого измерения. Программа позволяет привести все измерения, выполненные в одной системе (т.е. при одних и тех же условиях наблюдений) к единому «внутреннему» масштабу, органически связанному с рассматриваемым явлением, и автоматически учитывать все систематические ошибки, линейные относительно измеряемой величины. Тип ЭВМ: IBM PC-совмест. ПК; ОС: Windows.

**Язык программирования:** Python

**Объем программы для ЭВМ:** 4 Мб

**Правообладатель:** федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет»

#### ПРОГРАММА: ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРЕНОВ СООРУЖЕНИЙ БАШЕННОГО ТИПА

Программа предназначена для определения кренов сооружений башенного типа по данным наземного лазерного сканирования. Разработанный комплекс позволяет получать оперативные данные о текущем состоянии объекта при минимальном участии пользователя в процессе вычисления.

При разработке данного комплекса использовались следующие положения:

1. Определение крена трубы по множеству измеренных данных путем аппроксимации сечений окружностями, что значительно повышает точность и надежность полученных результатов.

2. Построение окружностей эволюционным алгоритмом, который с успехом может применяться во многих нелинейных оптимизационных задачах геодезии.

3. Автоматическая фильтрация (чистка) скана текущего сечения от искажающих данных, которые не вписываются по точности в построенную модель окружности.

Разработанный программный комплекс является результатом практической реализации теоретических разработок о возможностях применения поисковых методов при решении оптимизационных задач в геодезической практике. Данная программа позволяет значительно ус-

корить процесс камеральной обработки при определении крена. Кроме того, идеи, которые заложены при создании данного автоматизированного комплекса, могут служить основой при решении многих других оптимизационных задач геодезии.

Программа может применяться на различных геодезических предприятиях с целью повышения эффективности работы, а также в процессе обучения при выполнении лабораторных работ по дисциплине «Прикладная геодезия».

**Тип ЭВМ:** IBMPC-совмест.

**Язык:** Visual Basic for Application.

**ОС:** Windows.

**Объем программы:** 200 Кб.

**Правообладатель:**

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет»

## НАПРАВЛЕНИЕ: ФИЗИКА ПЛАЗМЫ

### Технология бесщеточной модуляции тока в неустойчивом режиме горения разряда

Изобретение относится к плазменной энергетике, к области модуляции тока и может быть использовано при разработке радиационно-стойкой высокотемпературной плазменной электроники для космических и наземных ядерных энергетических установок, систем экологической противорадиационной защиты, при создании низковольтных сильноточных цепей на объектах минерально-сырьевого комплекса при переработке радиоактивных полезных ископаемых и др.

Техническим результатом изобретения является полностью управляемая бесщеточная модуляция тока плотностью до  $20 \text{ А/см}^2$  с частотой 5-20 кГц, не требующая внешних энергетических воздействий и дополнительных управляющих элементов.

Технический результат достигается тем, что разряд зажигают в парах бинарной цезий-бариевой смеси, при этом размер межэлектродного зазора должен быть больше длины Дебая-Хюккеля, далее в плазме возбуждают электронную неустойчивость Бурсиана-Пирса и формируют виртуальный катод модулирующий ток, формирование которого происходит за время пробега электронов через зазор, а затем осуществляют управление процессом модуляции, причем регулирование уровня разрядного тока в диапазоне от 1 до  $10 \text{ А/см}^2$  происходит путем изменения сопротивления нагрузки  $R$ , а в диапазоне от 10 до  $20 \text{ А/см}^2$  путем изменения температуры эмиттера, изменение амплитуды тока и времени проводящего и запертого состояния осуществляют регулированием величины ЭДС источника  $E$  и величины межэлектродного зазора  $d$ .

Таким образом, предлагаемая технология обеспечивает полную и эффективную модуляцию тока без использования дополнительных электродов и каких-либо дополнительных внешних воздействий. В отличие от аналогичных устройств, в которых для управления процессом модуляции служит сетка, модуляция тока в диоде осуществляется за счет развития электронной неустойчивости и образования нелинейных структур в плазме.

#### Сведения об опубликовании:

Мустафаев, А. С. Новое поколение сильноточных ключевых элементов с цезий-бариевым наполнением (New generation of high-current plasmas switching devices with cesium-barium filling) А. С. Мустафаев, Б.Д. Клименков, А. Ю. Грабовский, В.И. Кузнецов / Специальный выпуск журнала, Физическое образование в вузах. – 2018. – Т. 24. – № 1С. 155С-159С.

Mustafaev, A. Cs-Ba diode and triode current modulators for efficient current management using Bursian-Pierce instability А. Mustafaev, В. Klimentov, А. Grabovskiy, V. Kuznetsov / Europhysics Conference Abstracts. 45th EPS Conference on Plasma Physics (EPS 2018). – 2018. – Vol. 42A – P2.3003, – P. 909-912.

Мустафаев, А. С. Возможности управления током в неустойчивом режиме горения разряда (Current control capabilities in unstable discharge mode) А. С. Мустафаев, Б.Д. Клименков, А. Ю. Грабовский, В.И. Кузнецов / Специальный выпуск журнала, Физическое образование в вузах. – 2019. – Т. 25. – № 2С. 69С-74С.

Mustafaev, A. Grid current control in the unstable mode of plasma discharge / A. Mustafaev, B. Klimenkov, A. Grabovskiy, V. Kuznetsov // Journal of Physics: Conference Series. – 2019. – Vol. 1400(7). – P. 077024.

Мустафаев, А. С. Способ бессеточной модуляции тока в неустойчивом режиме горения ряда // Заявка на патент РФ № 2019136933 от 18.11.2019. / А. С. Мустафаев, Б.Д. Клименков, А. Ю. Грабовский, В.И.Кузнецов

## НАПРАВЛЕНИЕ: ПРИКЛАДНАЯ ГЕОЛОГИЯ

### Эволюция и нефтегазоносность западно-арктических районов России

Оценка перспектив нефтегазоносности малоизученных западно-арктических районов России, включающих сушу и акваторию, выполнена на основе бассейнового моделирования нефтегазовых систем, выявленных по результатам проведения региональных сейсморазведочных работ, в свою очередь, завершенных в период 2010-2018 гг. по акватории южных районов Баренцева и Карского морей, транзитных (переходных зон суша–море) зон северных окончатых Тимано-Печорского и Западно-Сибирского осадочных бассейнов.

На основе анализа эволюции осадочных бассейнов, проведенного на базе интерпретации композитных и региональных протяженных сейсмопрофилей с привлечением данных палеомагнитных и палеотектонических реконструкций восстановлены основные этапы формирования северной части Печорской плиты в зоне ее сочленения с Баренцевоморской плитой, а также краевой части Восточно-Европейской платформы (Предпайхойско-Предновоземельский прогиб).

К наиболее значимым результатам, полученным вследствие выполненного анализа следует отнести выявление серии некомпенсированных прогибов, вероятно заполненных терригенными осадками позднерифейского, вендского или раннекембрийского возраста, расположенных на месте сформированных в рифейское время палеорифтов в зоне растяжения вдоль Тиманского прогиба и Печоро-Колвинского рифта (позднее сформировавшего авлакоген). Недокомпенсированные впадины вдоль Тимана и его нынешнего морского продолжения (п-ов Канин) заполнялись позднее терригенными осадками раннего и среднего ордовика. Компенсация Печорско-Колвинского рифта завершилась на рубеже среднего девона- раннего франа (позднего девона) формированием мощной терригенной толщи с существенной долей песчаников, характеризующихся хорошими коллекторскими свойствами.

К наиболее важной части результатов исследования необходимо отнести выявление и прослеживание нескольких углеводородных систем, определяемых развитием толщ, обогащенных органическим веществом, сформированных в морских условиях относительно глубоководного шельфа присущих площади исследования в позднесилурийское, раннедевонское и доманиково-турнейское время, а также толщ сформированных в прибрежных и континентальных озерных условиях (раннепермское-аргинско-кунгурское) время.

Выявленные нефтегазовые системы позволили выполнить моделирование условий формирования зон нефтегазоаккумуляции на заключительном этапе работ в 2019 году.

Развитие теории зон нефтегазоаккумуляции в пределах контролируемых распространением флюидоупоров мегакомплексов, в основании которых развиты нефтегазопроизводящие толщи позволяет дифференцировать исследуемые районы западно-арктической акватории и суши по перспективности и выделить целевые стратиграфические комплексы для дальнейшего изучения.

Фактическим материалом для моделирования послужили архивные результаты геохимических (битуминологических) исследований керн из скважин, расположенных в западно-арктических районах (севера Тимано-Печорской НГП, о. Колгуев, площадей Печорского моря). В качестве дополнительных к фондовым материалам были выполнены битуминологические исследования, биомаркерный анализ, позволяющий установить связи между очагами генерации УВ и зонами их палеоаккумуляции, пиролитические исследования методом Rock-Eval, томографические исследования распределения подвижных битумоидов и емкостного пространства на рентгеновском томографе, петрофизические исследования с использованием порозиметра образцов естественных обнажений доманиковой свиты и ее формационных аналогов Ухтинского района, вытяжек и керн Бугринской скважины (нижний ордовик и силур), вытяжек и керн скважин Малоземельско-Колгуевской моноклинали и северной части Ижма-Печорской впадины.



В результате моделирования палеотектонических реконструкций и на основе полученных геохимических данных выполнена оценка основных этапов и масштаба генерации УВ, оценка объема эмиграции и сохранения генерированных углеводородов в толще генерации.

В результате проведенных исследований установлена главенствующая роль доманиковой формации в генерации УВ на рассматриваемой территории, выделено четыре крупных очага генерации, один из которых расположен непосредственно в современной акватории Печорского моря – севернее острова Колгуев.

Проведенные палеотектонические реконструкции позволили не только уточнить время основных этапов генерации УВ, но и сопоставить их с палеозонами возможной аккумуляции углеводородов и тем самым локализовать зоны нефтегазоаккумуляции.

В целом, для района северного продолжения ТПП (до его сочленения с Баренцевоморским прогибом) оценка ресурсного потенциала методом бассейнового моделирования показала наличие возможных зон газонакопления в зонах некомпенсированных прогибов (ордовикские, ниже-среднедевонские отложения), в пределах морского продолжения Малоземельско-Колгуевской моноклинали (верхнедевонские и пермско-каменноугольные отложения), в пределах Предпайхоско-Предновоземельского прогиба (книжне-среднекаменноугольные и средневерхнепермские отложения); нефтенакпления – для тектонически стабильного района Хорейверско-Печороморской ступени, и крайне низкий потенциал углеводородов для западных районов с развитием маломощного осадочного чехла. Суммарная оценка геологических ресурсов нефти и газа составил для указанных районов 2,5 млрд. т. Дополнительный углеводородный потенциал связан с сохранными подвижными углеводородами доманиковой формации севернее и восточнее о. Колгуев, оцененный в 1.7 млрд. т.

Проведенное исследование по эволюции осадочных бассейнов позволило наметить крупные перспективные зоны нефтегазоаккумуляции, связанные с региональными обрамлениями некомпенсированных прогибов (региональными стратиграфическими ловушками), которые можно рассматривать как перспективные направления проведения геологоразведочных работ.

## **2.22. ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (ДФУ)**

### **Геомеханика**

Лаборатория «Геомеханики сильно сжатых горных пород и массивов» Инженерной Школы ДВФУ, созданная совместно с ИПМ ДВО РАН, продолжает разработку теоретических основ теории геомеханики сильно сжатых горных пород и массивов.

В рамках Программы исследований ФЦПИР БРИКС Международного Гранта по направлению снижения рисков катастрофических последствий геодинамических явлений получены следующие результаты:

1. Приобретено уникальное для условий России акустическое оборудование, позволяющее проведение исследований как в массиве, так и в лабораторных условиях на образцах горных пород.

2. Проведена исторически первая Международная Конференция «Проблемы геомеханики сильно сжатых горных пород и массивов» <http://dcdgr.ru/?cat=23>.

3. Опубликованы статьи в высокорейтинговых рецензируемых журналах (базы Web of Science & Scopus) – 6 статей.

3. Создан глубококорасположенный геодинамический полигон (рудник Николаевский, г. Дальнегорск) и совместно с ХФИЦ ДВО РАН проведены исследования сейсмоакустической активности и деформаций вмещающих пород массива месторождения.

4. Результаты работ представлены на Всероссийской выставке ВУЗПРОМЭКСПО.

Основные результаты исследований сводятся к следующему. Разработана теория представления иерархически-блочной геосреды системой неевклидовых моделей, отличающихся учетом условий несовместности деформаций и иерархичности процессов разрушения блочной геосреды. Показано, что система из моделей четырех уровней полностью охватывает условия моделирования мезотрещинных структур земной коры. Показано, что результаты моделирова-

ния дают полное качественное и удовлетворительное количественное соответствие данным натурных и лабораторных экспериментальных исследований. Разработаны многоканальные методы определения параметров мезотрещинных структур образцов и массивов.

Сформулированы предмет, метод и принципы геомеханики сильно сжатых горных пород и массивов, а также сделаны доклады на Первой Международной конференции по этой проблеме в г. Владивосток.

### **Строительная геотехнология**

Продолжены исследования в области рационального освоения подземного пространства мегаполисов. Опубликовано 2 статьи в журналах из списка ВАК и 2 статьи в журналах, индексируемых базой данных Scopus. Сделаны доклады на Международном семинаре г. Пекин.

### **Подземная газификация угля**

Продолжены исследования в области подземной газификации углей (ПГУ).

В рамках разработки комплексной технологии глубокой переработки углей методом газификации предложен технологический процесс получения и подготовки газа ПГУ для производства синтетических жидких топлив, который включает в себя очистку газа ПГУ от  $\text{CO}_2$  с целью обеспечения эффективности синтеза жидких топлив, а также использование  $\text{CO}_2$  в составе дутья с целью увеличения концентрации  $\text{CO}$  в газе ПГУ.

Проводятся исследования по использованию твердых коммунальных отходов (ТКО) в качестве дополнительного углеродсодержащего сырья в процессе подземной газификации угля. Выполнен анализ состава и свойств ТКО в целях изучения их эффективного использования для газификации в подземном газогенераторе. Предложен способ подготовки и подачи углеродсодержащего сырья в подземный газогенератор.

Результаты исследований доложены на международной конференции, опубликованы в специальном выпуске Горного информационно-аналитического бюллетеня и в научном журнале, индексируемом реферативной базой Scopus.

### **Комплексная переработка золошлаковых отходов**

Лаборатория технологий использования вторичных ресурсов Инженерной школы ДВФУ осуществляет разработку технологии комплексной переработки золошлаковых отходов предприятий энергетики.

В рамках реализации проекта «Разработка технологий извлечения высококонцентрированных оксидов железа из техногенных отходов энергетики и металлургии и производства на их основе товарного продукта для металлургической отрасли» по федеральной целевой программе «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы» проведены исследования влияния ультразвуковой кавитации и электромагнитного микроволнового излучения и установлен положительный эффект такого воздействия на эффективность обогащения техногенных отходов и концентрирования оксидов железа. Разработан способ извлечения недожога из золошлаковых отходов.

Разработаны экспериментальные установки:

- извлечения среднеконцентрированных оксидов железа из техногенных отходов энергетики;
- получения товарного железосодержащего концентрата;
- изготовления силикатного вяжущего из техногенных отходов энергетики;
- изготовления брикетов для металлургической отрасли из техногенных отходов энергетики.

Результаты исследований представлены на международных конференциях и на Всероссийской выставке ВУЗПРОМЭКСПО-2019, опубликованы в журналах ВАК и в журналах, индексируемых реферативной базой Scopus.

### **Обогащение и глубокая переработка георесурсов**

Продолжилось проведение исследований бурых углей и торфа Приморья в качестве основных исходных материалов экстракции для получения угольных и торфяных гуминовых препаратов.

В результате исследований были получены устойчивые фульвокислотные соединения, которые могут являться основой для гидропонных органических и органоминеральных удобрений. Опытные образцы удобрений, полученных на основе вышеуказанных фульвокислотных соединений, испытывались, как заменитель стандартной группы минеральных удобрений, и как добавка к последним на базе тепличных крестьянских хозяйств Юга Приморья по выращиванию огурцов в гидропонных системах.

Полученные препараты способствуют лучшему усвоению элементов питания почвы сельскохозяйственными культурами, повышают устойчивость их к неблагоприятным условиям произрастания, особенно в начальный период развития растений. Кроме того, препараты показали более высокие результаты роста, энергии роста, массы и другие параметров, таких, как сопротивляемость болезням (инфицирование листьев растений бактериями, грибами и тлей).

Полученные результаты опубликованы в специальных выпусках ГИАБ в 2019 году.

## **2.23. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ТУЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

### ***Кафедра геотехнологий и строительства подземных сооружений***

В 2019 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 декабрь 2019 г. за кафедрой закреплено 17 аспирантов очной и заочной формы обучения и 2 докторанта. 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 212.271.09.

В 2019 году при поддержке Стратегической программы развития инжиниринговых центров Минобрнауки РФ в Тульском государственном университете продолжает активно работать Инжиниринговый центр «Машины и оборудование для горнодобывающей отрасли». Основные особенности отчетного этапа реализации проекта заключались в корректировке ключевых задач стратегической программы. Необходимость корректировки стратегической программы обусловлена: во-первых, частичным изменением перечня индустриальных партнеров из-за банкротства нескольких предприятий, заявленных на начальном этапе, и изменения плана работы действующими предприятиями; во-вторых, частичным изменением идеологии практической деятельности с непосредственного участия в производстве товарной продукции на научное сопровождение проектов, проектирование, консультационные услуги и учебно-методическую деятельность для реального сектора экономики. Новыми партнерами являются Департамент природных ресурсов Вологодской области и Министерство природных ресурсов Забайкальского края. Уточнены тактические и стратегические цели Инжинирингового центра в соответствии с действующей Федеральной программой «Экология», а также системные организационно-технологические принципы межотраслевой и межрегиональной интеграции науки

и производства горных машин и оборудования для переработки отходов производства. Сформулированы идеология межотраслевой и межрегиональной интеграции науки и производства и основные концептуальные положения идеологии межрегиональной и межотраслевой интеграции. Цели Инжинирингового центра в области науки заключаются в развитии фундаментальных и прикладных исследований и совершенствовании существующих программ и методов комплексного изучения процессов функционирования горных машин при интенсификации освоения недр для разработки и внедрения концептуальных принципов импортозамещения, обеспечивающих высокий уровень конкурентоспособности и рентабельности.

При выполнении ряда научно-исследовательских и диссертационных работ были проведены комплексные исследования, общие результаты которых сводятся к следующему.

В области *рудничной аэрогазодинамики* для обеспечения *безопасности горных работ по фактору пожароопасности* при *подземной геотехнологии* были уточнены закономерности низкотемпературного окисления углей и теплофизических процессов, вызывающих самовозгорание угольных скоплений при отработке мощных угольных пластов. Основные выводы и рекомендации:

1) важнейшей подсистемой технологии снижения риска и локализации последствий возникновения эндогенных пожаров (ЭП) является компьютерная технология оценки динамики температурного режима угольных целиков и угольных скоплений в выработанном пространстве. Адаптация уравнений тепломассообмена в угольных целиках и угольных скоплениях в выработанном пространстве к конкретным горно-геологическим условиям, как правило, позволяет сформулировать адекватные краевые условия и ввести допущения, упрощающие эти уравнения;

2) вероятность безаварийной работы по фактору самовозгорания угля в общем виде подчиняется закону Пуассона. При этом длительность безаварийной работы по этому виду аварий является оценкой времени безотказной работы защитного экрана от самовозгорания угля и возникновения ЭП, следовательно, периодичность профилактических мероприятий по фактору самовозгорания угля определяется величиной времени безотказной работы мероприятий по профилактике ЭП;

3) процессы диффузионного переноса кислорода в целиках и выработанных пространствах необходимо учитывать при оценке эндогенной пожароопасности, т.к. интенсивность этих процессов при фиксированном уровне внешних воздействий зависит от диффузионного сопротивления среды, в которой распространяется кислород. Диффузионное сопротивление вещества угля движению через него кислорода можно характеризовать коэффициентом эффективной диффузии, так как в реальных условиях наблюдается как кнудсеновская, так и фольмеровская диффузия, а разделить эти два вида диффузионного переноса чрезвычайно сложно;

4) нестационарные одномерные поля концентрации кислорода в угольных целиках и выработанном пространстве являются результатом решения уравнения диффузии кислорода в твердой фазе, учитывающего сорбцию газа угольным веществом в целиках и выработанных пространствах. Вычислительные эксперименты наглядно свидетельствуют о монотонном убывании функции распределения кислорода и диффузионного потока и их стремлении к некоторому асимптотическому значению;

5) дифференциальное уравнение теплопроводности в целиках и угольных скоплениях в выработанном пространстве, описывающее в общем виде поле температуры в целиках и угольных скоплениях в выработанном пространстве, а также связывающее низкотемпературное окисление с полем температур посредством источника тепловыделения, позволяет решать различные практические задачи, в том числе, и определение местоположения действующего очага ЭП;

6) разработана математическая модель взаимодействия кислорода с углем, представляющего собой многостадийную, гетерогенную реакцию, которую условно можно разделить на несколько стадий. При этом изотерма адсорбции кислорода углем оказывает сильное влияние на ход кинетической кривой. Таким образом, без предварительных данных о величине константы Генри сложно предсказать возможность статистически верно выбрать модель сорбции;

7) склонность углей к низкотемпературному окислению характеризуется константой скорости этого процесса. А оценку опасности возникновения эндогенных пожаров получают из решения системы уравнений тепломассопереноса в угольном пласте или угольном скопле-

нии. Анализ данных, полученных в результате вычислительных экспериментов, показал, что предложенная модель развития возникшего очага самонагрева отражает все возможные направления протекания процесса;

8) вычислительный эксперимент, проведенный на основе информации о склонности углей к низкотемпературному окислению, позволяет определить пожаробезопасные условия ведения горных работ, в том числе и условия пожаробезопасного хранения угля на складах. В целом подход к решению рассмотренной задачи должен отвечать требованию использования всей базы знаний о самовозгорании угля без потери информации о закономерностях процесса на этапе его формализации;

9) эмпирические закономерности, отражающие связь константы скорости взаимодействия кислорода с углем, с факториальными признаками, во-первых, свидетельствуют о том, что эта связь, как правило, нелинейная, и, во-вторых, позволяют выявить группу физико-химических свойств угля, которые являются наиболее значимыми факториальными признаками. Аналогичный вывод может быть сделан по эмпирическим закономерностям, отражающим связь коэффициента диффузии кислорода в угле, с факториальными признаками;

10) профилактика самовозгорания угля в выработанном пространстве производится путем выполнения комплекса мер, включающего: обработку краевых частей угольных целиков водным раствором антипирогена; подачу газообразного азота (инертной пены) в выработанное пространство; поддержание скорости подвигания очистного забоя не менее 61 м/мес.; исключение аэродинамической связи выработанного пространства с действующими выработками; уменьшение притока воздуха в выработанное пространство; компенсирование потери влаги в выработанном пространстве путем нагнетания водных растворов антипирогена в виде аэрозолей.

В области *подземной геотехнологии* и *рудничной аэрогазодинамики* для обеспечения *аэрологически безопасной* одностадийной *технологии* отработки мощных пологих пластов с управляемым выпуском угля из межслоевых и подкровельных пачек установлены новые и уточнены существующие закономерности, отражающие связь горно-геологических и горно-технических условий и характеристик угольных месторождений с нагрузкой на очистной участок и креплением подготовительных выработок. Основные выводы и рекомендации:

1) эксплуатационные испытания технологии одностадийной отработки запасов мощных пологих пластов с выпуском подкровельной угольной толщи проводились при отработке запасов пласта 21 в условиях шахты «Ольжерасская-Новая» ОАО «Южный Кузбасс» по методике, предусматривающей разделение пласта на подсечной слой мощностью 3,3 м и подкровельную толщу мощностью 3,7-4,0 м;

2) рекомендовано применение сталеполимерной анкерной крепи для двухуровневого крепления подготовительных выработок, проводимых у почвы угольного пласта при расположении над ними подкровельной пачки. Стальные анкеры винтового профиля, анкеры первого уровня крепления предложено устанавливать на высоту 2,5 м от контура кровли выработки. Второй уровень крепления подготовительной выработки реализуется за счет установки тросового анкера типа АК-01 глубокого заложения (5-5,5 м). При этом эксплуатационная надежность анкерной крепи обеспечивается при закреплении анкеров в породах кровли на длину не менее 0,5 м;

3) доказано, что при двухуровневых схемах крепления подготовительных выработок определение суммарного сопротивления возводимой крепи, допустимо осуществлять путем алгебраического сложения значений сопротивления крепи обеих уровней;

4) в результате эксплуатационных испытаний установлено, что проектные параметры технологической схемы обеспечивают эффективную и безопасную отработку запасов пласта 21 в границах выемочного участка 21-1-5 комплексом ZF 8000/22/35 с выпуском подкровельной толщи угля мощностью 3,7-4,0 м. Надежное саморазрушение без принудительного разрушения подкровельной толщи угля происходит при кратности отношения ее мощности к мощности подсечного слоя не более 2;

5) оценка работоспособности механизированной крепи ZF 8000/22/35 подтвердила следующее: особенностью кинематической схемы крепи является развитая поддерживающая часть линейных секций (до 4,85 м), наличие мощного четырёхзвенного шарнирного механизма, обеспечивающего надёжную связь верхняка с основанием секции и устойчивость секций, мощная ограждающая часть с изменяющимися угловыми параметрами, позволяющими изме-



нить размеры крепи и производить корректировку положения хвостового ограждения относительно завального конвейера; геометрические параметры секций крепи и их кинематическая схема обеспечивают надежное саморазрушение угля подкровельной толщи мощностью от 3,7 м до 5,8 м и управляемый выпуск разрушенного угля на завальный конвейер;

6) на основе анализа опыта эксплуатации очистного механизированного комплекса ZF–800/22/35 установлено, что наличие выдвигаемого из ограждения линейной секции крепи гидравлического щита способствует интенсификации процессов выпуска угля на завальный конвейер и доставки полезного ископаемого вдоль очистной выработки;

7) в результате аналитических исследований установлено, что форма кривой образующей потока выпуска угля на завальный конвейер представляет собой параболу вида  $y = Ax^n$ , при этом радиус потока выпуска на расчётной высоте его составляет 1,8–2,0 м, а с учетом радиуса выпускного окна – 2,6–2,8 м. Максимум ускорения движения кусков угля в центре потока выпуска находится на уровне  $4,9 \text{ м/с}^2$  при максимальной скорости движения кусков  $3,5 \text{ м/с}$ ;

8) выпуск угля при совместном обнажении подкровельной пачки и пород кровли будет происходить с образованием воронки внедрения, высота которой (критическая высота выпуска) определяется высотой выпуска угля, составляя  $0,75$  ее значения;

9) установлены следующие рациональные параметры выпуска угля: – кратность отношения диаметра выпускного окна  $D$  к максимальному поперечному размеру куска угля  $d$  на уровне  $D/d \geq 4-5$ ; – среднее время непрерывного истечения угля  $3,5$  с при средней скорости потока  $0,3 \text{ м/с}$  и среднем ускорении движения кусков угля  $0,6 \text{ м/с}^2$ ;

10) выпуск угля на завальный конвейер может рассматриваться как выпуск сыпучего материала из бункера, а режимные характеристики выпуска угля определяются параметрами элементов разгрузочно-выпускной системы механизированной крепи, мощностью и параметрами процесса саморазрушения подкровельной пачки угля, периодичностью, высотой зоны обрушения пород кровли и схемой формирования массива обрушенных пород в выработанном пространстве;

11) интенсивность выпуска угля подкровельной толщи на завальный конвейер зависит от параметров элементов разгрузочно-выпускной системы крепи, мощности и параметров саморазрушения угля подкровельной толщи, периодичности и высоты зоны обрушения пород кровли, схем формирования массива обрушенных пород за крепью;

12) при выемке мощного угольного пласта на полную мощность одним забоем с выпуском подкровельной пачки метановыделение из подкровельной пачки нарушенной структуры будет формироваться по законам движения газа в трещиновато-пористых сорбирующих средах. Динамика метановыделений на очистных и подготовительных участках характеризуется периодическими колебаниями дебита из-за рассредоточенного во времени проявления технологических и геомеханических воздействий на угольно-породный массив и включения в процесс газовыделения источников, сопутствующих этим воздействиям;

13) суммарное поступление метана в выработанное пространство очистного участка включает газовыделение из подработанных и надработанных горных пород, и смежных угольных пластов. В этом процессе участвуют породы и смежные угольные пласты, затронутые процессом сдвижения горного массива;

14) анализ технологических схем разработки мощных пологих пластов с погашением и выпуском подкровельной и межслоевой угольной толщи показывает, что можно производить выемку угля с применением большого количества различных способов и средств, существующих и принципиально новых конструкций. При выемке мощного угольного пласта на полную мощность одним забоем с выпуском подкровельной пачки образуется три обнаженных поверхности, через которые происходит выделение метана: подсеchnый слой разрабатываемого угольного пласта; подкровельная пачка угля; смежный угольный пласт («пласт – спутник»); породы основной кровли;

15) суммарное поступление метана в выработанное пространство очистного участка включает газовыделение из подработанных и надработанных горных пород, и смежных угольных пластов. В этом процессе участвуют породы и смежные угольные пласты, затронутые процессом сдвижения горного массива. Анализ технологических схем разработки мощных пологих пластов с погашением и выпуском подкровельной и межслоевой угольной толщи пока-

зывает, что можно производить выемку угля с применением большого количества различных способов и средств, существующих и принципиально новых конструкций. При выемке мощного угольного пласта на полную мощность одним забоем с выпуском подкровельной пачки образуется три обнаженных поверхности, через которые происходит выделение метана: подсечный слой разрабатываемого угольного пласта; подкровельная пачка угля; смежный угольный пласт («пласт – спутник»); породы основной кровли;

16) расчеты количества воздуха для проветривания подготовительных выработок по фактору метановыделения с поверхности обнажения разрабатываемого угольного пласта с использованием разработанной компьютерной программы проведены для 16 подготовительных выработок 6 шахт ОА «ОУК – Южжубассуголь». Полученные результаты практической апробации динамического метода для расчета количества показывают, что, во-первых, учет конвективного переноса метана позволяет сократить расчетное количество воздуха величину от 30 до 80 % по сравнению с методом статического разбавления метана, и, во-вторых, удовлетворительно совпадает с данными натурных наблюдений.

В области *подземной геотехнологии* и *геомеханики* для повышения эффективности извлечения и размещения отходов калийных производств в выработанном пространстве при разработке Верхнекамского месторождения калийно-магниевого солей получены закономерности изменения физико-механических свойств закладочного массива из солеотходов, глинисто-солевых шламов и отходов производства сульфата калия. Основные выводы и рекомендации:

1) установлено, что раствор хлористого кальция в составе закладочной смеси оказывает вяжущие свойства на отходы производства калийных рудоправлений. При массовой концентрации хлористого кальция в растворе 51–57 % в составе закладочной смеси образуется монолитный закладочный массив;

2) лабораторными и шахтными исследованиями подтверждено, что прочность образцов закладочных смесей, состоящих из солеотходов, глинисто-солевого шлама и кристаллогидратов хлористого кальция сопоставима с прочностью твердеющей закладки на основе вяжущих из смеси цемента с молотым шлаком, применяемой на рудниках цветной металлургии. Средняя прочность на одноосное сжатие образцов с наполнителем из солеотходов составляет 2,08–7,06 МПа, с наполнителем из шлама составляет 6,93–19,19 МПа;

3) установлено, что на транспортабельность смесей оказывает влияние отношение твердой и жидкой фаз в смеси, температура и содержание мелких частиц класса -0,16 мм. При увеличении содержания твердого, увеличении содержания мелких частиц и снижении температуры закладочной смеси удельные потери напора увеличиваются;

4) шахтные испытания подтвердили, что подача смесей, содержащих хлористый кальций, обеспечивается гидравлическим способом, а в выработанном пространстве при остывании смеси до 25°C образуется прочный монолитный массив закладки на основе кристаллогидратов хлористого кальция;

5) разработана технология размещения шлама в составе закладочной смеси, содержащей раствор хлористого кальция, позволяющая за счет увеличения извлечения руды в 1,4 раза не только компенсировать расходы на его размещение, но и получить прибыль от дополнительно извлекаемых запасов в случае применения параметров системы разработки с повышенным извлечением, которое достигается путем формирования в отработанных камерах монолитного закладочного массива на хлористом кальции за счет возможного увеличения степени нагружения междукамерных целиков на величину, рассчитанную по времени их устойчивого состояния;

6) разработана схема вскрытия участка с вышележащего пласта, позволяющая минимизировать затраты на изоляцию участка при ведении закладочных работ, так как отсутствует необходимость возводить непроницаемые переемычки в каждой камере, снизить затраты на удаление рассола, являющегося несущей жидкостью в пульпе солеотходов при их совместном размещении с шламом, и обеспечивать безопасность закладочных работ за счет отсутствия рабочего персонала непосредственно в закладываемых камерах;

7) технология закладки с вышележащего пласта через скважины позволяет достигать практически полного заполнения камер при размещении твердых частиц шлама в закладочном массиве в процентном соотношении к добыче 2,5–12,4 масс. %, что больше, чем при послойной гидрозакладке шлама и солеотходов, при подмешивании шлама в пульпу солеотходов и при размещении шламов в геотубы.

### **В 2019 году получены следующие научно-технические результаты:**

- подготовлены и защищены 1 докторская и 2 кандидатские диссертации;
- изданы 2 монографии общим объемом 31,06 условно-печатных листов, 2 учебных пособия (38,83 усл.-печ. листов) и 4 подписных издания «Известия ТулГУ. Науки о земле»; издание «Известия ТулГУ. Науки о Земле» включено в международную базу цитирования Web of Science;
- публикационная активность (исходя из рекомендованных рейтинговых показателей): количество статей в научных периодических изданиях, включенных в международную базу цитирования Scopus – 21; количество статей в научных периодических изданиях, включенных в международную базу цитирования Web of Science – 23; 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 – 53; количество цитирований публикаций, изданных за последние 5 лет, индексируемых в информационно-аналитической системе научного цитирования РИНЦ – 697 (без учета самоцитирования); количество цитирований публикаций, изданных за последние 5 лет, индексируемых в информационно-аналитической системе научного цитирования Scopus – 105; количество цитирований публикаций, изданных за последние 5 лет, индексируемых в информационно-аналитической системе научного цитирования Web of Science – 292;
- получены 2 патента и подана 1 заявка на изобретение;
- по результатам обучения в аспирантуре по направлениям 05.06.01 «Науки о Земле», 21.06.01 «Геология, разведка и разработка полезных ископаемых» и 05.26.01 «Техносферная безопасность» подготовлены 11 аспирантов, получившие квалификацию «Преподаватель. Преподаватель-исследователь»;
- совместно с НП «Молодежный форум лидеров горного дела» и Фондом «Надежная смена» проведен отборочный тур VII Международного инженерного чемпионата «CASE-IN» (Лига по горному делу); в отборочном туре приняли участие 6 команд из студентов кафедры; команда «Конгломерат», ставшая победителем этапа, была направлена на финал Чемпионата (г. Москва); студенты кафедры приняли участие в Осеннем кубке Чемпионата «CASE-IN»;
- 31 студент кафедры приняли участие в Международных и Российских конкурсах и конференциях; получены 9 дипломов призеров конкурсов.

## **2.24. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

В соответствии с приоритетными направлениями развития науки, технологий и техники в Российской Федерации, программами развития экономики и образования Свердловской области, направлениями развития научных школ университета в ФГБОУ ВО «УГГУ» определены пять приоритетных направлений развития университета:

1. Геология, поиск и разведка полезных ископаемых.
2. Проектно-изыскательская деятельность.
3. Технологии и оборудование добычи и обогащения полезных ископаемых.
4. Экологические основы природопользования и рекультивации территорий.
5. Техносферная безопасность.

Выполненные в 2019 году Уральским государственным горным университетом научно-исследовательские работы преимущественно относятся к отмеченным направлениям.

Университет выполнял исследования и разработки в интересах социально-экономического развития отдельных регионов и Российской Федерации в целом.

Структура финансирования выполненных работ: 59 % – по хозяйственным договорам с российскими предприятиями, 10 % – с зарубежными предприятиями; 1 % – по государственному заданию; 23 % – по программе «Госгеолкарта ГДП – 200»; 7 % – по грантам РФФИ.

## **1. Проект «Выполнение геолого-съёмочных и картосоставительских работ в пределах листа О-40-XXIX (Шалинская площадь)»**

Работы по данному проекту выполнялись в рамках государственного задания Федерального агентства по недропользованию от 30.12.2016 г. № 049-00012-17-00 на 2017 год и на плановый период 2018 и 2019 годов в составе объекта работ ФГБУ «ВСЕГЕИ»: «Проведение региональных геолого-съёмочных работ масштаба 1:200000 на группу листов в пределах Уральского и Приволжского ФО» согласно приказу Роснедра от 29.12.2016 г. № 784 «О перечне объектов региональных геолого-геофизических и геолого-съёмочных работ по геологическому изучению недр и воспроизводству минерально-сырьевой базы, финансируемых за счет субсидии на финансовое обеспечение выполнения государственных заданий Федерального агентства по недропользованию на 2017 год и плановый период 2018 и 2019 годов».

### **Целевое назначение работ**

Целевое назначение работ заключалось в подготовке геологической информации для оценки изученности и подготовки геологического обоснования проведения ГДП-200 листа Р-40-VI (Шалинская площадь), а также для предварительной оценки перспектив территории на железо, золото, платиноиды и другие полезные ископаемые.

### **Основные научные и научно-технические результаты проекта**

В результате выполненных работ созданы предварительная геохимическая основа масштаба 1:200000, предварительные геологические карты масштаба 1:200000 (карта фактического материала, геологическая карта дочетвертичных образований, карта четвертичных образований, регистрационная карта полезных ископаемых и закономерностей их размещения) листа Р-40-VI (Шалинская площадь).

### **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.

Предполагаемое использование результатов и продукции рассчитано на широкий круг специалистов, занимающихся региональной геологией, и предприятий, осуществляющих поисково-разведочные работы.

## **2. Проект «Комплексное изучение особенностей глубинного геологического строения и выявление зон дезинтеграции глубинных интервалов фундамента Шаимского НГР»**

Тематика работ по данному проекту соответствует следующим Приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники в Российской Федерации: «Информационно-телекоммуникационные системы» и «Рациональное природопользование».

### **Целевое назначение работ**

Концептуальное моделирование процесса формирования залежей УВ в доюрском комплексе, типизация коллекторов, выявление перспективных интервалов коллектора в доюрском разрезе.

### **Основные научные и научно-технические результаты проекта**

1. Сформирована начальная картографические базы данных ArcGIS и ISOLINE в масштабах 1:500000-1000000, в том числе: структурная карта по горизонту А, цифровая модель дневного рельефа, аномальные гравитационное и магнитное поля, серия региональных сейсмических профилей в форматах SEG-Y.

2. Проанализированы различные трансформанты гравитационного и магнитного полей.

3. Разработана геологическая модель в контуре основного планшета (масштаб 1:500000), уточнено положение структурно-тектонических элементов и предложен первый вариант геодинамической модели надпорядкового уровня.

4. Выполнен анализ региональных линеаментов показывает наличие двух систем региональных разломов: северо-восточного субмеридионального и субширотного простираения. По сейсмическим данным выделена зона пересечения двух региональных разломов сдвигового характера и оперяющие ее разломы меньшего ранга.

5. Для выявления связей между залежами и характерными имиджами на сейсмических разрезах в доюрском основании осадочного чехла (ДЮОК). В ходе интерпретации сейсмических данных были проанализированы следующие сейсмические интервалы разреза, выявлена интерференция выходов слоев вулканогенно-осадочной толщи триаса на поверхность раннеюрского размыва, толщин коры выветривания и распределения толщин нижних горизонтов осадочного чехла.

#### **Предполагаемое использование результатов**

Результаты НИР позволяют обосновано сформулировать концепцию нефтенасыщения интервалов осадочного чехла и фундамента с учетом геодинамического режима бассейна. На следующих этапах исследований будет выполнена детальная трансформация сейсмических данных с применением ДФМ-технологии по приоритетным участкам и региональным профилям, в результате которой означенные выше схематические элементы геодинамического режима в контуре основного планшета будут корректироваться.

### **3. Проект «Актуализация методики оценки работоспособности и эффективности бурового инструмента»**

Тематика работ по данному проекту соответствует Приоритетному направлению развития науки, технологий и техники в Российской Федерации «Рациональное природопользование».

#### **Целевое назначение работ**

Определение ключевых факторов и критериев оценки работоспособности и эффективности бурового инструмента. Разработка методики оценки работоспособности и эффективности бурового инструмента.

#### **Основные научные и научно-технические результаты проекта**

Изучены абразивность и динамическая прочность горных пород Гайского месторождения. Предложены методы оценки эффективности и критерии выбора бурового инструмента с учетом горно-геологических и горнотехнических условий. Актуализирована методика оценки работоспособности и эффективности бурового инструмента.

В связи со сложностью определения ресурса конкретного бурового инструмента с учетом его заточек для оценки работоспособности и эффективности бурового инструмента предложен метод сравнительных испытаний.

Разработанная методика определяет объекты, место, условия и порядок проведения испытаний, методы измерений, критерии оценки результатов и рекомендации по выбору эффективного бурового инструмента.

#### **Предполагаемое использование результатов**

6. Реализация комплекса мероприятий, который может быть разработан на основе предложенной методики испытаний и последующего анализа причин отказов инструмента, может обеспечить снижение затрат при эксплуатации бурового инструмента на 30-35% с годовым экономическим эффектом до 1-1,5 млн. руб.

### **4. Проект «Разработка научных основ энергоресурсоэффективной технологии обогащения техногенных образований с целью извлечения микродисперстного золота и платины путем их тепловой обработки»**

Тематика работ по данному проекту соответствует Приоритетному направлению развития науки, технологий и техники в Российской Федерации «Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика».

#### **Целевое назначение работ**

Разработка технологии переработки и утилизации техногенных образований и отходов.

#### **Основные научные и научно-технические результаты проекта**

В лабораторных условиях реализован разработанный способ извлечения тонкодисперсного золота из минеральных материалов. Способ включает нагрев материала, расплавление, измельчение после охлаждения и обогащение с использованием центробежных

концентраторов Knelson и Falcon. Показано, что в период нагрева, когда сохраняется пористый каркас руды, а золото расплавлено, капли Au, находящиеся в порах, движутся к ее поверхности из-за разности капиллярных давлений на их противоположных менисках (термокапиллярный эффект).

После расплавления всего материала капли золота флотируются под действием сил межфазного натяжения пузырьками оксида углерода, образующимися при разложении карбонатов. В процессе флотации идет коагуляция. В результате происходит концентрирование золота на поверхности образующегося оксидного расплава и укрупнение частиц до размеров, позволяющих извлекать Au гравитационными методами. Золото в процессе нагрева и расплавления рудной массы переходит в свободное состояние, а размеры его частиц увеличиваются до 100 мкм и более.

#### **Предполагаемое использование результатов**

Результаты проекта могут быть использованы для повышения эффективности переработки техногенных образований, а также упорных руд с целью извлечения микродисперсного золота и платины на основе комбинирования методов обогащения.

Так, укрупнение частиц Au позволяет существенно повысить его извлечение гравитационными методами. Тепловая обработка позволяет довести извлечение золота из руды в концентрат до 33,11 % для фракции +0,045-0,071 мм, до 28,56 % для фракции -0,045 мм (концентратор Knelson) и до 33,84 % для фракции -0,071 мм (концентратор Falcon).

### **5. Проект «Обоснование возможности и целесообразности применения альтернативных систем разработки при отработке запасов руды в условиях Корбалихинского месторождения»**

Тематика работ по данному проекту соответствует Приоритетному направлению развития науки, технологий и техники в Российской Федерации «Рациональное природопользование».

Объектом исследования является технология отработки рудных тел Корбалихинского месторождения.

#### **Целевое назначение работ**

Поиск альтернативных вариантов систем разработки, соответствующих горно-геологическим и горнотехническим условиям месторождения; разработка рекомендаций по креплению подготовительно-нарезных и очистных выработок.

#### **Основные научные и научно-технические результаты проекта**

В работе рассмотрены проектные решения по технологии отработки рудных тел на Корбалихинском месторождении. Выполнено геомеханическое обоснование параметров систем разработки. Подробно рассмотрены альтернативные варианты систем разработки для отработки запасов Корбалихинского месторождения. Собрана статистика отработки выемочных единиц на Корбалихинском руднике. Выполнен анализ паспортов крепления. Разработаны рекомендации по креплению и определению несущей способности крепи подготовительно-нарезных и очистных выработок Корбалихинского рудника, а также рекомендации по упрочнению массива горных пород с применением опережающего тампонирования цементными растворами.

Выполнена оценка параметров сдвижения горных пород и разработаны меры охраны объектов от воздействия горных работ.

Проведена экономическая оценка эффективности альтернативных вариантов систем разработки.

#### **Предполагаемое использование результатов**

Последующими стадиями выполнения НИР будут являться:

Выполнение проекта (рабочей документации) для проведения опытно-промышленных испытаний варианта или вариантов системы разработки. Разработка обоснования безопасности опасного производственного объекта. Проведение экспертизы промышленной безопасности обоснования безопасности опасного производственного объекта.

Проведение опытно-промышленных испытаний разработанной технологии добычи руды в опытном блоке и разработка рекомендации по ее дальнейшему внедрению.



**2.25. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ЮГО-ЗАПАДНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

***Факультет строительства и архитектуры***

***Кафедра экспертизы и управления недвижимостью, горного дела***

За период 2018-2019 учебного года исследования проводились в следующих направлениях:

- 1 Подготовка специалистов в области горного дела (доц. Семенова Л.А.).
- 2 Обогащение золота (студент гр. ГР32з, главный обогатитель Озерновский ГМК Шалдыбин Д.А.)

**Подготовка специалистов в области горного дела**

Современный этап развития горной промышленности, характеризуется как переход к постиндустриальной стадии развития общественного производства [8, 9], в этой связи актуальным становится вопрос подготовки кадров для данного производства, и ведущая роль при этом отводится учебным заведениям среднего профессионального и высшего образования. К сожалению, на сегодняшний день мы наблюдаем разобщенность разноразрядных учебных заведений, готовящих специалистов для определенной области промышленного производства. Сама проблема создания интеграционного образовательного пространства для подготовки конкурентоспособного специалиста не нова, а решение ее невозможно без разработки преемственных образовательных программ, без сетевого взаимодействия в рамках “ссуз-вуз” [10].

На сегодняшний день ВУЗов России, осуществляющих подготовку специалистов (специалитет) для нужд недропользования, насчитывается 45 [15]. Учебные заведения среднего профессионального образования, ведущие подготовку по направлению подготовки 21.02.18 «Обогащение полезных ископаемых», зачастую территориально расположены в городах, имеющих отношение к горнорудному производству, а ведущие ВУЗы России в этой сфере подготовки, как правило, территориально оторваны от производства. Противоречие на наш взгляд состоит в том, что с одной стороны возникает острая необходимость в формировании интеграции субъектов промышленности и образования, и с другой – в несформированности интегрированного образовательного пространства между учебными заведениями разного уровня подготовки кадров одной профессиональной направленности. [13]

Мы полагаем, что реализация интеграции учебных заведений, осуществляющих подготовку горных инженеров в единую систему на основе единства учебных планов, рабочих программ учебных дисциплин, может быть одним из организационно-методических путей трансформации традиционной образовательной системы в открытое культурно-образовательное пространство с образованием единого сотворческого инновационного поля деятельности горных инженеров. Многие учреждения профессионального образования различных уровней видят гарантию повышения качества подготовки кадров в создании единого преемственного образовательного пространства, которое обеспечивает последовательное получение студентами разного уровня образования и квалификации в соответствии с интересами личности и потребностями общества и направлено на совершенствование профессионального мастерства на каждом уровне [5, С. 51-58].

При этом и СПО и ВО сегодня при подготовке специалиста не может не обращать внимания на запросы работодателя [4]. Задача учебного заведения – обеспечить соответствие качества подготовки специалиста требованиям рынка труда. Для этого необходимо следить за изменениями его конъюнктуры, выявлять требования работодателей, предъявляемые к выпускникам ВУЗов. Мы согласны с Н.В. Хлабыстовой, подчеркивающей, что помимо профессиональных знаний работодатели требуют от молодых специалистов высокой коммуникабельности, готовности к непрерывному самообразованию, способности к принятию решений и т.п. [14, С.152].

Высшее образование само по себе воспринимается современным работодателем как императивный фактор, но в реальном сегменте рынка труда для выпускников ВУЗа предъявляются требования, к выполнению которых они зачастую не готовы, и задача учебных заведений

предложить студентам новую образовательную парадигму, направленную не только на формирование определенных в ФГОС компетенций, но и таких личностных качеств выпускника, которые позволят ему стать конкурентноспособным специалистом на рынке труда. Сейчас предприятия нуждаются в достойной смене поколений, соответствующей инновационным тенденциям, в соответствии с чем, имеют серьезные причины заботиться о взаимодействии с теми, от кого будут получать соответствующий ресурс [2, с. 96].

Необходимо задаться вопросом – какого выпускника, с какими ключевыми и базовыми компетенциями ждут работодатели? Чтобы ответить на него, необходимо организовать постоянную взаимосвязь с представителями рынка труда или потенциальными заказчиками. Взаимоотношения между предприятиями и выпускниками возникают, если оба интересны друг другу при стремлении к достижению своих целей [3, 6, 7].

В подготовке специалиста – горного инженера мы ориентируемся на соотнесение образования с социальным заказом современного рынка труда, поскольку требования потенциальных работодателей к молодым специалистам возрастают [11, С. 126].

В рамках данной работы мы используем опыт создания интеграционного образовательного пространства для подготовки конкурентоспособного специалиста в области горного дела такими учебными заведениями, как ФБГОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» и ОБПОУ СПО «Железногорский горно-металлургический колледж». Данными учебными заведениями ведется профессиональная подготовка кадров для Михайловского горно-обогатительного комбината еще с 70-х годов 20-го столетия, и накоплен достаточный опыт взаимодействия. Проиллюстрируем данные положения на примере взаимодействия работодателя и вуза. Во-первых, происходит привлечение работодателей к разработке учебно-программной документации, учитывающей современные и перспективные требования к уровню подготовки рабочих и специалистов. Так, ОП ВО по направлению подготовки 21.05.04 Горное дело были согласованы с управлением по подбору и развитию персонала ПАО «МГОК». Во-вторых, производственные практики обучающихся по данному направлению подготовки являются выездными с использованием технологической базы ПАО Михайловский ГОК. В-третьих, организовано участие работодателя в оценке качества подготовки выпускников при проведении их итоговой аттестации, в процедурах лицензирования и государственной аккредитации образовательных учреждений путем использования квалифицированных кадров предприятия, в частности членами государственной экзаменационной комиссии являются управляющий директор Кретов С.И., заместитель главного обогатителя Хромов В.В. и т.д. В-четвертых, к реализации образовательного процесса в ФБГОУ ВО Юго-Западный государственный университет привлечены высококвалифицированные кадры из руководящего состава ПАО Михайловский ГОК, имеющие высшую научную квалификацию: Губин С.Л., начальник ДОК ПАО МГОК, к.т.н.; Козуб А.В., главный инженер ПАО МГОК, к.т.н.

Подобный положительный опыт при подготовке специалистов среднего звена накоплен и ОБПОУ СПО Железногорский горно-металлургический колледж. Во-первых, при организации приема колледж ориентируется на реальную потребность в специалистах ПАО Михайловский ГОК, зачастую само предприятие является заказчиком для подготовки тех или иных специалистов. Так, при возникновении необходимости ведется набор по специальности «Металлургия черных металлов» и т.п. В колледже организованы курсы переподготовки и повышения квалификации по рабочим профессиям, дефицит которых имеется на предприятии, например, «Обогатитель широкого профиля», причем рабочие профессии по данному направлению получают не только работники ПАО МГОК, но и студенты колледжа при прохождении практики на предприятии. Председателем комиссии при проведении выпускных квалификационных экзаменов является начальник ДОК ПАО Михайловский ГОК Губин С.Л.

Во-вторых, при поддержке работодателя был организован ресурсный центр с оборудованием кабинетов обогатительного профиля. В-третьих, успешно решается вопрос по трудоустройству выпускников на предприятия отрасли и обеспечение обучающихся прохождением практик на производстве.

Но, несмотря на достигнутые положительные результаты в области интеграции образования и производства, за последние несколько лет (наблюдения велись в период с 2011г. по настоящее время) интерес к продолжению обучения у выпускников колледжа значительно

снизился. Так, выпускников ЮЗГУ по направлению подготовки 21.05.04 Горное дело 2013 года – 29 человек, среди них более 67% имели базовое образование колледжа по специальности 21.02.18 Обогащение полезных ископаемых. Тогда как аналогичных обучающихся набора 2014 года – 19 человек, и далее мы наблюдаем отрицательную динамику обучающихся по данной специальности. Причину этого мы видим не только и не столько в так называемой демографической яме, сколько в отсутствии мотивации к получению высшего образования выпускниками колледжа по специальности 21.02.18 Обогащение полезных ископаемых. В связи с этим в рамках профориентационной работы нами было проведено исследование методом опроса выпускников Железногорского горно-металлургического колледжа по вопросам продолжения образования в ВУЗе. Одной из главных причин нежелания продолжения образования выпускниками называется отсутствие мотивации карьерного роста на предприятии, нежелание брать на себя ответственность и занимать руководящие должности, эта тенденция за последние годы привела базовое предприятие ПАО Михайловский ГОК к «кадровому голоду». Частично данная проблема решается и силами самого предприятия путем переподготовки кадров на базе учебного центра ПАО Михайловский ГОК, частично путем переподготовки посредством курсов на базе кафедры экспертизы и управления недвижимостью, горного дела Юго-Западного государственного университета.

По нашему мнению, причиной сложившейся ситуации является разобщение триединой системы подготовки кадров. Так, есть безусловное взаимодействие подсистемы Работодатель-СПО, и подсистемы Работодатель – ВО, и нет четкого взаимодействия между подсистемами СПО-ВО. Усугубляет ситуацию и нерациональная, с точки зрения затрат времени и средств, вынужденная цикличность построения учебного процесса, когда техник в вузе повторно изучает многие дисциплины, которые преподавались в СПО.

Решение возникших проблем, на наш взгляд, возможно несколькими способами:

- Возможен путь перезачета дисциплин, которые уже изучались в рамках СПО, поскольку нарушать требования государственного стандарта и учебные планы на его основе недопустимо.

- Возможен подход, связанный с интеграцией СПО-ВО, предусматривающий слияние программ обучения в рамках СПО и ВО. В этом случае возникает необходимость разработки индивидуальных планов обучения. Слияние программ СПО и ВО на основе простого сокращения суммарного числа часов, отводимых на изучение дисциплин, является недопустимым вариантом. Необходимо отметить, что теоретически такой вариант обучения возможен и документально регламентирован в университете, но практически еще не реализовывался.

Необходимо отметить и тот факт, что выпускники колледжа, поступаая в ЮЗГУ, уже являются работниками базового предприятия ПАО Михайловский ГОК. При этом у многих обучающихся в ВУЗе возникает иллюзия «всезнания» и опыта работы на конкретном производстве, что снижает интерес к изучению нового в профессии и переход к более высокой ступени обучения становится не безболезненным. Практическая профессиональная направленность у данных обучающихся устойчиво превалирует над теоретико-исследовательской (определение проблемы, постановка цели, формулирование задачи, творчество), что создает значительные трудности в научно-исследовательской деятельности в Вузе, а ей справедливо отводится значительное место в подготовке специалиста.

Все вышеизложенное позволяет нам сделать определенные выводы о том, что интеграционное образовательное пространство для подготовки конкурентоспособного специалиста горного инженера должно включать не только комплекс образовательных учреждений, занимающихся подготовкой горных инженеров, но и самих работодателей, заинтересованных в определенных профессиональных и личностных качествах своих будущих работников [1, С.18-23; ] При этом необходимо взаимодействие и в рамках «СПО – ВО».

Функционирование интеграционного образовательного пространства станет возможным на основе преемственности. Ведь именно преемственность обеспечивает студенту возможность довести свою образовательную траекторию до высшей точки – получить высшее образование, невзирая на личные и общественные перипетии и реализоваться в профессиональном плане [12].

## Список литературы

1. Байнев, В.Ф. Проблемы интеграции образования стран – участниц СНГ и Западной Европы/ Байнев В.Ф // ИО. – 2002. – №1. – С.18-23
2. Гордон, Винстон. Субсидии, рыночная власть и образовательная среда: особенности экономики высшего образования / Гордон Винстон; пер. с англ. А. Ковалевой // Вопросы образования. – 2005. – № 1. – С. 87–117., с. 96.
3. Данилаев, Д.П. Система высшего технического образования: диалектика согласования интересов ее субъектов/ Данилаев Д.П., Маливанов Н.Н., Польский Ю.Е. // Высшее образование в России. – 2011. – № 11. – С.99-104.
4. Diane Mayo, Jeanne Goodrich. Staffing for Results: A Guide to Working Smarter. PLA (Public Library Association). – 2002. – 160 p.
5. Корнеев, Д.Н. Сетевое взаимодействие как фактор инновационного развития высшего профессионального образования / Д.Н. Корнеев, Н.Ю. Корнеева / Сетевое взаимодействие как форма реализации государственной политики в образовании: сб. материалов Всерос. науч.- практ. конф. с межд. участ. 18-19 февраля / под ред. В.В. Садырина, Е.М. Дорожкина, Е.А. Гнатышиной и др. – Челябинск: СИМАРС, 2015. – с. 51-58.
6. Маливанов, Н.Н. Проектирование педагогической системы формирования профессионально важных качеств инженеров в системе непрерывного образования // Вестник высшей школы. «Alma mater». – 2005. – №1. – С. 52-53.
7. Obi Ogbanufe. Technology Made Simple for the Technical Recruiter: A Technical Skills Primer. Paperback. – 2010. – 288 p.
8. Послание Президента Федеральному Собранию (1 декабря 2016г.) [Электронный ресурс] // Портал Президента России. Режим доступа: <http://kremlin.ru/events/president/news/53379> (Дата обращения: 06.08.2019).
9. Путин, В.В. О наших экономических задачах / Сайт «Путин. Итоги». – 30.01.2012. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.putinitogi.ru/2012/01/30/statya-v-v-putina-onashixekonomicheskix-zadachax> (последнее обращение 6 августа 2019 г.)
10. Савченков, А.В. Теоретическое обоснование экспериментальной работы по развитию профессиональных компетенций у учащихся учреждений СПО с девиантным поведением / профилактика и методы борьбы с асоциальными проявлениями в ПОО СПО Челябинской области: прил. к науч.-практ. ж-лу «Инновационное развитие профессионального образования» / под науч. ред. И.Р. Сташкевич. – 2014. – № 1 (05). – с. 44-51.
11. Семенова, Л.А. // Опыт создания интеграционного образовательного пространства для подготовки конкурентоспособного специалиста горного дела/ Семенова, Л.А., Коновалова Л.И. // Современные проблемы высшего образования материалы VII Международной научно-методической конференции. С.Г. Емельянов (отв. редактор). – 2015. – С. 126.
12. Семенова, Л.А. Преемственность профессионального образования как понятие/ Семенова Л.А. // Научно-методический электронный журнал концепт .. – 2015. – №13.
13. Стронгин Р.Г., Максимов Г.А. Интеграция образования и науки. Опыт Нижегородского университета. – Н. Новгород: Издательство Шевченко Е.В. Болонский процесс и российская система высшего образования// ИО 2002. №2/3. С.38-42 Нижегородского университета, 2005. – 20 с.
14. Хлабыстова, Н.В. Взаимодействие института высшего профессионального образования и рынка труда в современном российском обществе (на примере Краснодарского края / Н.В. Хлабыстова// Вестник АГУ. – №1(156). – 2015. – С.152.
15. Число высших учебных заведений. URL: [http://www.gks.ru/bgd/regl/b03\\_33/IssWWW.exe/Stg/d010/i010970r.htm](http://www.gks.ru/bgd/regl/b03_33/IssWWW.exe/Stg/d010/i010970r.htm) (дата обращения: 6 августа 2019).

## Опыт модернизации обогащательного оборудования с целью интенсификации процессов гравитационного обогащения золота

В последнее время отмечается снижение качества сырья в золотоперерабатывающей промышленности. Речь идет прежде всего о вовлечении в переработку руд с низким содержанием золота или «неотходе» содержаний золота в руде при эксплуатации по сравнению с разведочными данными [14, С.29].

Обогащательная фабрика «Рудника Каральвеем» не является исключением. Так, в течение 1995–1997 годов при отработке наиболее богатых руд предприятие действовало достаточно успешно. В 1996 году введена в эксплуатацию золотоизвлекательная фабрика «Рудника Ка-

ральвеем» ЗАО «Руда» (г. Билибино). За период с 1996 по 1999 год добыто 3,8 тонны золота, в том числе: в 1996 году – 0,5 тонны; в 1997 году – 1,8 тонны; в 1998 году – 0,8 тонны; в 1999 году – 0,7 тонны. В 1999 году предприятие оказалось на грани банкротства из-за невыполнения планов золотодобычи по причине резкого снижения качества товарной руды. [3].

Большинство золотоперерабатывающих компаний в России при гравитационном обогащении золота выбрали для себя оборудование марки FLSmidth Knelson (в частности концентраторы фирмы «Knelson» [2, С.17-21, 4]. Так, В.В. Пелих, В.М. Салов подчеркивают: «Гравитационные концентраторы центробежного типа, и в частности концентраторы FLS Knelson, зарекомендовали себя как крайне эффективный элемент схемы в технологических цепочках современных предприятий» [10]. Практический опыт многих золотоизвлекательных фабрик показывает положительный эффект при использовании концентраторов FLS Knelson.

Между тем, дискуссия на тему выбора обогатительного оборудования остается актуальной, а ответ на вопрос, что выгоднее, использование отсадочных машин или концентраторов, на наш взгляд, простой: есть месторождения и условия, где выгоднее отсадка, а есть месторождения, где выгоднее использование концентраторов. У каждого оборудования есть определенная область эффективного применения.

Проблема интенсификации извлечения тонковкрапленного золота связана с необходимостью применения новых или совершенствования традиционных технологий и оборудования для переработки продуктивной горной массы [7, 8,11].

Известны как отечественные (ЦБК, СЦВ, СЦМ, Итомак, «Бегущая волна»), так и зарубежные (Ogocson, Knelson, Falcon) конструкции центробежных концентраторов, используемых на золотоизвлекательных фабриках, но в последнее время все большую популярность приобретает концентратор Knelson. Подчеркивается, что в концентраторе обогащаемый слой поддерживается во взвешенном слое, что препятствует уплотнению концентрата и образованию «мертвых» зон.[12, 13, 9], что в свою очередь улучшает показатели обогащения золотоносных руд.

Эффективность гравитационного обогащения зависит от крупности обогащаемых материалов. Традиционные аппараты удовлетворительно извлекают в водном потоке лишь зерна золота крупнее 0,2–0,25 мм. Мелкое же золото, особенно мельче 0,1 мм, содержание которого в обогащаемом сырье растет, извлекается ими неудовлетворительно. Наиболее реальным направлением решения задачи извлечения мелкого золота в настоящее время является разработка технологий с применением центробежных концентраторов [1, С. 22].

Тем не менее, опыт работы ЗИФ месторождения «Каральвеем» показал потери мелкого золота, вследствие установки на 4 и 5 стадиях обогащения оборудования с низким коэффициентом извлечения. Гравитационное обогащение в цикле измельчения на обогатительной фабрике месторождения «Каральвеем» осуществлялось на следующем оборудовании:

- в центробежных концентраторах «Knelson» KC-CD30 с периодической разгрузкой концентрата (разгрузка 2-3 раза в час). Нагрузка концентратора по питанию на I стадии – 34,0 т/ч на V- 34,8 т/ч. Производительность данного аппарата до 50-100 т/ч.
- концентратор «Knelson» KC-XD48 с периодической разгрузкой концентрата (разгрузка 2 раза в час). Нагрузка концентратора по питанию на II стадии 59,8 т/ч, на III – 67,7 т/ч. Производительность данного аппарата по паспорту до 200-400 т/ч.
- концентратор Knelson CVD – 42 на IV стадии обогащения с постоянной разгрузкой концентрата. Производительность аппарата по паспорту (по твердому) от 40-100 т/ч.

Основная цель модернизации оборудования – повышение извлечения золота на 4 и 5 стадии гравитационного обогащения за счет установки оборудования с непрерывным режимом работы и высоким процентом выхода концентрата. Предположительно с этой проблемой могли справиться отсадочные машины МОД-3М и МОД-2М с дальнейшей перемешкой на концентративных столах.

Главными причинами необходимости модернизации 4 и 5-ой стадии явились следующие:

- изменение сырьевой базы и увеличение количества мелкого золота с 17 до 75% от общего получаемого золота, подтверждением этих выводов является опробование технологической схемы в 2016 и 2017 г. по всем переделам ЗИФ и отчетная статистика по «золотой головке и осадения золота на электролизере в гидрометаллургическом отделе. Результаты статистики осадения золота по годам представлены на рисунке.

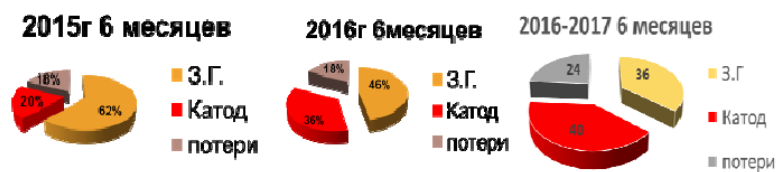


Рисунок – Диаграммы результатов статистики осаждения золота по годам

- частые аварийные остановки и снижение (полное отсутствие) выхода концентрата с концентратора Knelson CVD42 связаны с техническими возможностями форсунок концентратора, которые блокируются частицами крупностью более 0,5 мм. Согласно технологическому регламенту содержание готового класса должно составлять до 65% -0,074 мм, поэтому наличие в питании концентратора частиц, крупность которых более 0,5 мм считается нормальным. Для стабильной работы концентратора необходимо устанавливать дополнительно грохот для контрольной классификации, что ведет к операционным затратам, кроме того, в отделении измельчения отсутствуют оптимальные места для размещения грохота и в случае его установки требуется дополнительное оборудование (шламовые насосы, зумпф). При эксплуатации концентратора Knelson CVD42 аварийные остановки в среднем в смену составляют 2 раза по 15 минут, от общего рабочего времени это минус -4,17%; количество остановок Knelson CD30 для выгрузки концентрата (машина с прерывным циклом работы) составляет в смену 58 минут, от общего рабочего времени минус -8%;
- высокие операционные затраты при работе с Knelson (электроэнергия, запасные части, сервис) в сравнении с другими типами оборудования такими, как отсадочные машины, концентрационные столы и спиральные сепараторы;
- риски, связанные с отсутствием запасных частей для концентратора Knelson CVD42, ранее были получены два уведомительных письма о том, что поставка запасных частей задерживается, задержка в поставке составляет более 6 месяцев и грозит остановкой технологического оборудования. В связи с вышесказанным увеличивается время восстановления работоспособного состояния оборудования, что влечет за собой увеличение внеплановых простоев, а также к повышению стоимости ремонтных работ. В свою очередь неудовлетворительное обеспечение запасными частями концентратора Knelson CVD42 ведет к частым простоям и вспомогательного оборудования, что в свою очередь резко снижает коэффициент использования оборудования. Это стало основанием для принятия решения о замене концентратора Knelson CD30 на 4 и 5 стадиях обогащения на отсадочную машину МОД-2М для снижения операционных затрат.

Хотя промышленные испытания были проведены на конкретном месторождении, предполагаем, что при обогащении мелкого, пылевидного золота или золота средней крупности отсадочные машины типа МОД можно использовать на любом руднике для переработки промпродукта, и они могут составить реальную конкуренцию уже завоевавшим популярность концентраторам фирм «Knelson».

#### Список литературы

1. Афанасенко, С.И. Достижения гравитационных методов обогащения [Текст] / С.И. Афанасенко, А.Н. Лазариди, А.Н. Роговой //ЗОЛОТОдобывающая промышленность. – 2018. – №3 (45). – С. 22.
2. Бочаров, В.А. Анализ процесса разделения золотосодержащих продуктов в концентраторах Knelson и Falcon SB [Текст] / В.А. Бочаров, А.В. Гуриков, В.В. Гуриков // Обогащение руд. – 2002. – №2. – С.17-21.
3. ГОДОВОЙ ОТЧЕТ за 2006 год. Открытое акционерное общество "Рудник Каральвеем" – (<http://www.goldpro.ru/wp-content/uploads/karalveem/2006EmitentOtchet.pdf>).
4. Евдокимов, С.И. Выбор схемы и оборудования для обогащения золотосодержащей руды нового месторождения [Текст] / С.И. Евдокимов, Е.М.Казимилова. А.А.Солоденко. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2004. – №10. – с.318.



5. Кондратьев, М.Н. Новые данные по структуре, минералогии, геохимии золоторудного месторождения Каральвеем (Чукотка) [Текст] / М.Н. Кондратьев, Н.Е. Савва, Н.Г. Гамянин и др. // Отечественная геология. – №3. – 2017. – С. 35.
6. Корчагина, Д. А. Минерально-сырьевая база свинца и цинка Забайкальского края [Текст] / Корчагина Д. А. // Руды и металлы. – 2018. – № 3. – С. 4–15.
7. Klein B., Altun N.E., Ghaffari H. Use of centrifugal gravity concentration for rejection of tail and recovery improvement in base-metal flotation // International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials. 2016. Vol. 23, Iss. 8. P. 859–867.
8. King R.P. Modeling and simulation of mineral processing systems. Boston: Butterworth-Heinemann, 2014. 404 p.
9. Пелих, В.В. Применение Knelson CVD-технологии для обогащения золото-свинцовой руды [Текст] / В.В. Пелих, В.М. Салов, А.Е. Бурдонов, Н.Д. Лукьянов // Обогащение руд. – 2019. – №1. – С.6.
10. Пелих, В.В., Салов В.М. Специфика применения центробежных сепараторов KNELSON с периодической разгрузкой – ([https://elibrary.ru/download/elibrary\\_25286061\\_30748727.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_25286061_30748727.pdf)).
11. Sakuhuni G., Altun N. E., Klein B., Tong L. A novel laboratory procedure for predicting continuous centrifugal gravity concentration applications: The gravity release analysis // International Journal of Mineral Processing. 2016. Vol. 154. P. 66–74.
12. Шумская, Е.Н. Повышение извлечения золота из полиметаллической руды Ново-Широкинского месторождения / Е.Н. Шумская, А.С. Сизых // Горный журнал. – 2014. – № 11. – С. 44–48.
13. Hidayah N.N., Abidin S.Z. The evolution of mineral processing in extraction of rare earth elements using liquid-liquid extraction: A review // Minerals Engineering. 2018. Vol. 121. P. 146–157.
14. Филонюк, В.А. О некоторых причинах низкой эффективности геолого – методического обеспечения современных поисково-разведочных и эксплуатационных технологий в золотодобывающей отрасли/ В.А. Филонюк, И.А. Дубовская // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле РАН. – 2016. – №3(56). – С.29.

**2.26. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«МАГНИТОГОРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ им. Г.И. НОСОВА»**

*Институт горного дела и транспорта*

**Геотехнология**

Проведены исследования по оценке устойчивости откосов бортов и отвалов с учетом реконструкции карьера Светлинского золоторудного месторождения, которое характеризуется сложными горнотехническими и горно-геологическими условиями.

Произведено обследование современного состояния уступов, бортов карьера и отвалов. Выделены отдельные участки, ослабленные влиянием различных неблагоприятных горно-геологических факторов, подверженные локальным деформациям и соответственно требующие особого внимания.

Проведен анализ результатов инструментальных наблюдений. По эксплуатируемым и взятым, в настоящее время, на контроль участкам скорости смещения реперов, в общем, незначительны, но наблюдается накопление деформаций. В связи с развитием горных работ на нижних горизонтах происходит подработка ослабленных участков, заключающаяся в изменении конфигурации борта, и в то же время сопровождающаяся сейсмическим воздействием взрывных работ. Это может провоцировать активизацию деформационных процессов. На ослабленных участках скорости смещения могут достигать значительных величин и варьироваться в широких пределах. При этом на некоторых участках наблюдается весьма резкое увеличение скоростей смещений, с переходом от стабильного состояния к деформирующемуся.

Проведено математическое моделирование напряженно-деформированного состояния приоткосного массива, графических и аналитических расчетов устойчивости откосов карьера в

существующих и перспективных контурах. Определены физико-механические свойства для массива пород.

Результаты расчета коэффициента запаса устойчивости и математического моделирования по различным профильным разрезам предпроектного карьера показывают, что предварительно выбранные параметры откосов бортов не соответствуют имеющимся прочностным характеристикам приоткосного массива. На основе представленных расчетов и полученных результатов, рекомендуется изменение параметров предпроектных контуров карьера и отвалов, используемых для технико-экономического обоснования кондиций.

Результаты расчета коэффициента запаса устойчивости по локальным участкам северо-восточного борта карьера современного состояния показывают, что имеющиеся параметры откосов исследуемых участков бортов не соответствуют прочностным характеристикам приоткосного массива. Полученные значения  $K_{3y}$  находятся в пределах 0,94 – 1,1. Таким образом, данные участки не имеют достаточного запаса устойчивости, гарантирующего сохранность, располагаемых и эксплуатируемых в данной зоне, транспортных коммуникаций.

В целом для бортов проектируемого карьера рекомендуется формирование выпуклого профиля. В верхней части бортов породы более выветрелые, а, следовательно, имеют наименьшие прочностные характеристики, поэтому выпуклый борт более рационален, так как в этом случае в более слабых породах участок борта пологий, а в нижней части, где влияние процесса выветривания исключено и породы отличаются высокими прочностными свойствами, более крутой.

### **Обогащение полезных ископаемых**

Сформированы научно-методологические подходы к разработке технологий и построению технологических схем переработки горнопромышленных отходов с селективным концентрированием металлов в товарные продукты:

Многокомпонентный полиминеральный фазовый состав горнопромышленных отходов, микроскопическая и субмикроскопическую вкрапленность ценных компонентов, нахождение металлов в структурах типа твердых растворов обуславливают возможность селективного извлечения металлов только после подготовительных операций техногенного сырья: тонкого измельчения; термического вскрытия, выделения магнитной и немагнитной фракции, создании строго фиксированного рН, аэрировании растворов.

Область технологических исследований с целью обоснования комплекса методов разделения и их рациональной последовательности в комбинированной технологии переработки определяется на основании моделирования физико-химических взаимодействий в системах, характерных для предполагаемых процессов поэтапного разделения техногенного сырья.

Экологичность разрабатываемых технологий достигается получением, наряду с металлосодержащими товарными концентратами (промпродуктами), технологических продуктов, подлежащих размещению в окружающей среде с характеристиками отходов не выше четвертого класса опасности или качеством нормативно очищенных вод.

Построение технологических схем переработки моно- и гетерофазных твердых и жидких горнопромышленных отходов с селективным концентрированием металлов в товарные продукты должно включать специальные подготовительные операции для обеспечения селективности разделения, комплекс адаптированных физико-химических и химических методов разделения, учитывающих нахождение сырья в разных фазовых состояниях.

Компоновка оборудования должна предусматривать использование апробированного серийного обогатительного оборудования, мобильную перестройку процессов при изменении технологических свойств горнопромышленных отходов в широком диапазоне варьируемых условий их образования и хранения.

Созданы математическая и физико-химическая модели процесса напорной флотации и гальванокоагуляции в системах, включающих элементы микрокомпонентного состава подотвальных вод.

На основании сформированных подходов, проведенного моделирования процессов разделения техногенных фаз, установления закономерностей и оптимизации параметров концентрирования металлов в физических, физико-химических и химических процессах, обоснованного выбора оборудования технологических решений и схем переработки горнопромышлен-

ных отходов. Разработана комбинированная технология обогащения клинкера вельцевания цинковых кеков с получением трех продуктов: железомедного концентрата с массовой долей железа в нем 44,82%, меди 6,33%, при извлечении железа 95,73%, меди 88,36%. угольного и сульфидного концентратов с массовой долей меди в среднем 14,07 %, при извлечении меди 8,05%. Разработана бесцианидная химическая технология комплексной переработки лежалых хвостов флотации медно-цинковых колчеданных руд, позволяющая извлекать в металлопродукты более 73% золота, 71% серебра, 56% меди и 87% железа.

#### ***Изданы:***

##### **Монография**

1. Мажитов А.М., Волков П.В. Обрушение руды и вмещающих пород при разработке пологих месторождений. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. тех. ун-та им. Г.И. Носова, 2019. – 124 с.

##### **Сборники научных трудов**

1. Комбинированная геотехнология: переход к новому технологическому укладу. Сборник тезисов / под ред. Калмыкова В.Н., Рыльниковой М.В. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. тех. ун-та им. Г.И. Носова, 2019. – 196 с.

2. Комбинированная геотехнология: переход к новому технологическому укладу. Сборник трудов конференции / под ред. Калмыкова В.Н., Рыльниковой М.В. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. тех. ун-та им. Г.И. Носова, 2019. – 424 с.

##### **Журналы**

1. Актуальные проблемы горного дела. Научно-технический журнал. 2019. №1 (7). 60 с.

2. Актуальные проблемы горного дела. Научно-технический журнал. 2019. №2 (8). 52 с.

## **2.27. ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «СЕВЕРОКАВКАЗСКИЙ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ» (ГТУ)**

Центром разработки программ устойчивого развития горных территорий (Центр «Горы») и Автономной некоммерческой организацией «Международный инновационный научно-технический центр «Устойчивое развитие горных территорий «Горы» СевероКавказского горно-металлургического института (государственного технологического университета) (СКГМИ(ГТУ) в 2019г. были проведены работы по реализации научно-исследовательских и научно-практических программ и проектов. Ниже приводится краткая информация по их выполнению.

### ***1. Научные форумы***

#### ***1.1. Очередная IX Международная научно-практическая конференция «Горные территории: приоритетные направления развития»***

В соответствии с решением VIII Международной научно-практической конференции «Наука, образование, культура и информационно-просветительская деятельность – основы устойчивого развития горных территорий» в Северо-Кавказском горно-металлургическом институте(государственном технологическом университете), г. Владикавказ, Республика Северная Осетия-Алания, Российская Федерация, с 4 по 7 декабря 2019г. прошла очередная IX Международная научно-практическая конференция «Горные территории: приоритетные направления развития».

Организаторы конференции: Правительство Республики Северная Осетия-Алания, Комиссия Российской Федерации по делам ЮНЕСКО, Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), Публичное акционерное общество «Горно-металлургическая компания «Норильский никель», Российский Пагуошский комитет, Институт истории естествознания и техники имени С.И.Вавилова РАН, Академия наук Чеченской Республики, Международный инновационный научно-технологический центр «Устойчивое развитие горных территорий» СКГМИ (ГТУ).

Сопредседатель Оргкомитета конференции: В.З.Битаров – глава Республики Северная Осетия-Алания (Владикавказ, Россия); Кристоф Ванденберг – руководитель Международной программы по геонаукам и геопаркам ЮНЕСКО (Париж, Франция); С.Н.Дяченко – первый вице-президент – операционный директор ПАО «ГМК «Норильский никель» (Норильск, Россия).

Заместители председателя: Ю.В.Дмитрак – ректор СевероКавказского горно-металлургического института (государственного технологического университета) (Владикавказ, Россия); М.Э.Шмидт – профессор Университета г. Аугсбург (Германия).

Сопредседатели Программного комитета: А.Л.Чибаров – руководитель Владикавказского научного центра РАН (Владикавказ, Россия); А.А. Айдаралиев – академик Национальной академии наук Кыргызской Республики, председатель попечительского совета Международного университета Кыргызстана (Бишкек, Кыргызская Республика); И.А.Керимов – академик АН ЧР, вице-президент Академии наук Чеченской Республики (Грозный, ЧР, Россия).

Заместители председателя Программного комитета: Ф.А.Темботова – директор Института экологии горных территорий, чл.-корр. РАН (Нальчик, Россия); Е.А.Хадзарагова – проректор по научной работе и инновационной деятельности СевероКавказского горно-металлургического института (государственного технологического университета) (Владикавказ, Россия).

Научные форумы, посвященные различным аспектам развития горных территорий, проводятся на Северном Кавказе с 1992г. Всего на настоящий момент прошло более 20 конференций, семинаров и круглых столов, в работе которых участвовали ведущие ученые и специалисты из России и более чем из 40 стран мира.

I-я Международная конференция «Экологические проблемы горных территорий» состоялась 20-24 октября 1992г. во Владикавказе. В последующем конференции стали традиционными и проводятся регулярно. Начиная с 2004г. все форумы проходят при непосредственном участии сотрудников Секретариата ЮНЕСКО и/или под эгидой ЮНЕСКО.

Последним значимым мероприятием в рамках сложившихся традиций по проведению форумов горной тематики была Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Устойчивое развитие горных территорий: история и предпосылки оптимизации природопользования», посвященная 80-летию со дня образования Чеченского государственного университета (Грозный, 18-22 сентября 2018г.).

В работе IX Международной научно-практической конференции «Горные территории: приоритетные направления развития» приняло участие (очное, заочное) более 340 человек, из которых в работе пленарного заседания форума приняло участие не менее 120 человек, остальные принимали участие в работе направлений, секций, семинаров и круглых столов.

Из общего количества принявших участие в конференции 48 были представителями 11 зарубежных стран, в т.ч. Абхазии (5 чел.), Австрии (1 чел.), Азербайджана (7 чел.), Армении (10 чел.), Казахстана (4 чел.), Кыргызстана (1 чел.), США (1 чел.), Таджикистана (2 чел.), Узбекистана (12 чел.), Украины (3 чел.) и Франции (1 чел.).

Российская Федерация на конференции была представлена более чем 270 участниками из 23 субъектов, в т.ч. г. Владикавказ и горные районы РСО-Алания (более 130 чел.), г. Москва (31 чел.), г. Санкт-Петербург (2 чел.), г. Майкоп, Республика Алания (1 чел.), г. Барнаул, Алтайский край (1 чел.), г. Горно-Алтайск, Республика Алтай (3 чел.), г. Уфа, Республика Башкортостан (2 чел.), г. Махачкала, Республика Дагестан (25 чел.), г. Назрань, Республика Ингушетия (2 чел.), г. Иркутск, Иркутская обл (2 чел.), г. Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика (30 чел.), г. Черкесск и Карачаевск, Карачаево-Черкесская Республика (4 чел.), г. Краснодар и Сочи, Краснодарский край (12 чел.), г. Красноярск, Красноярский край (2 чел.), г. Дубна, Московская обл. (2 чел.), Приморский край (1 чел.), г. Ростов и Новочеркасск, Ростовская обл. (5 чел.), г. Эссентуки, Пятигорск и Ставрополь, Ставропольский край (12 чел.), г. Томск, томская обл. (1 чел.), г. Челябинск, Челябинская обл. (1 чел.), г. Грозный, Чеченская Республика (18 чел.), г. Ярославль, ярославская обл. (1 чел.).

Участниками IX Международной научно-практической конференции «Горные территории: приоритетные направления развития» было представлено более 220 работ (доклады, статьи, сообщения) 330 авторов. Из общего количества работ в электронное издание «Горные территории: приоритетные направления развития» [Электронный ресурс]: Сборник материалов IX

Международной научно-практической конференции (г. Владикавказ, 4-7 декабря 2019г.) вошло 184 работы 288 авторов, из которых 77 статей 133 авторов опубликовано здесь же. Часть статей (94 статьи 180 авторов), имеющих непосредственное отношение к Кавказу, а также несколько работ методического плана из других горных регионов, опубликованы в коллективной монографии «Устойчивое развитие горных территорий Кавказа» – Том 2. / Научные редакторы И.А.Керимов, А.Н.Гуля, В.А.Широкова. – М.: ИИЕТ РАН, 2019, которая вышла в свет к открытию конференции.

Остальные работы направлены в научные журналы «Устойчивое развитие горных территорий», «Грозненский естественнонаучный бюллетень» и др. с рекомендациями Оргкомитета конференции к публикации материалов в этих изданиях.

Все работы конференции, опубликованные в изданиях Сборник трудов IX Международной научно-практической конференции «Горные территории: приоритетные направления развития (электронный ресурс), коллективная монография «Устойчивое развитие горных территорий Кавказа (2 том), научных журналах «Устойчивое развитие горных территорий», «Грозненский естественнонаучный бюллетень» и др. представляют интерес для широкого круга специалистов и научных сотрудников университетов, научных и производственных организаций, будут полезны студентам, аспирантам и преподавателям вузов.

### *1.2. Иногородние и международные научные форумы*

Сотрудники Центра «Горы» СКГМИ (ГТУ) помимо организации и проведения IX Международной научно-практической конференции «Горные территории Приоритетные направления развития» приняли участие в следующих всероссийских и международных форумах:

- VII Всероссийская конференция с международным участием «Горные экосистемы и их компоненты», посвященная 30-летию научной школы члена-корреспондента РАН А.К.Темботова и 25-летию Института экологии горных территорий им. А.К.Темботова, г. Нальчик, 15-20 сентября 2019г.

- IV Международная научно-практическая конференция «Защита населения и территорий в чрезвычайных ситуациях», г. Екатеринбург, 26 сентября 2019г.

- IV Кавказский экологический форум «Человек в современном мире: экология, рекреация, туризм», г. Грозный, 18-20 октября 2019г.

- Second Caucasus Mountain Forum Caucasus Regional Research Agenda: Key to Sustainable Regional Development, Ankara University, Ankara, Turkey, 30 October-1 November 2019.

- Международный семинар – совещание участников программы ЮНЕСКО «Глобальная Сеть Геопарков ЮНЕСКО» на базе Геопарка «Янган-Тау», Салдаватский район, Республика Башкортостан, Российская Федерация, 25-29 ноября 2019г.

## ***II. О работе очередных II зимней и VI летней Северо-Кавказских комплексных экспедиций по исследованию динамики изменения природных процессов и комплексов и систем природопользования в горах***

### *II.1. II зимняя Северо-Кавказская Комплексная экспедиция 2019 года*

С 30 января по 05 февраля 2019г. в горных районах Чеченской Республики были проведены исследовательские работы II зимней Северокавказской Комплексной Экспедиции совместно с I-й зимней студенческой экспедицией, организованной на базе факультета географии и геоэкологии Чеченского государственного университета.

Основная цель экспедиции – изучение земного состояния ландшафтов и природопользования горных регионов Северного Кавказа.

Участники экспедиции – студенты, магистранты и аспиранты факультета географии и геоэкологии Чеченского государственного университета и кафедры физической географии мира и геоэкологии Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова. В работе экспедиции принимал участие научно-педагогический состав Чеченского государственного университета, Института географии РАН, Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова, Северокавказского федерального университета и Северокавказского горно-металлургического института (государственного технологического университета).

Участники экспедиций изучали зимнее состояние природно-территориальных комплексов; посетили горнолыжный курорт «Ведучи», рекреационный комплекс «Казеной-Ам», древнее городище Хой и с. Макажой. Встречались с жителями и главами администраций горных поселений. Исследовали возможности сельскохозяйственного и рекреационного развития горных территорий региона.

Проведенные исследования стали научно-исследовательской базой для подготовки статей, курсовых и выпускных квалификационных работ, заявок на гранты, а также для разработки программ устойчивого развития горных территорий.

## *II.2. VI летняя Северо-Кавказская Комплексная Экспедиция 2019 года*

С 16 по 19 июля 2019г. на территории Тебердинского биосферного заповедника прошел первый этап Северокавказской комплексной экспедиции. Это шестая по счету экспедиция, которая в 2019г. прошла в несколько этапов.

Проведены три полевых выезда по изучению динамики ландшафтов и систем природопользования:

1. Комплексный профиль вдоль верхней части Военно-Сухумской дороги (до Клухорского перевала через Главный Кавказский хребет, 2781 м).

2. Высотные климатические градиенты и их связь с динамикой и устойчивостью ландшафтной структуры и систем жизнеобеспечения высокогорных регионов в контексте глобальных изменений климата. Профиль через пос. Домбай от г. Мусат-Чери до г. Семенов-Баши.

3. Знакомство с работой научно-исследовательской лаборатории «Геоэкологического мониторинга», на учебно-оздоровительной базе КЧГУ в г. Теберде.

Проведены «круглые столы»:

17.07.2019г. – Социально-антропологические подходы к изучению проблем окружающей среды: взгляд со стороны американских антропологов. Доклады Christine Le Jeune (США), Дарья Третьяченко (МГУ).

В процессе дискуссий признано важным применение некоторых подходов к изучению проблем окружающей среды на основе социально-антропологических методов.

В этом отношении сотрудничество ученых из России и США может дать хорошие результаты.

18.07.2019г. Домбай-Теберда: долговременные географические исследования и встраивание их в современный контекст. Онищенко В.Л. (КЧГУ).

Отмечены три основные задачи, стоящие перед горной геоэкологией.

1. Мониторинг быстро текущих (и ускоряющихся в последнее время) процессов в гляциальной и перигляциальной зонах, связанных с изменениями климата, трансформацией процессов природопользования (рост туризма, загрязненность высокогорных рекреационных центров и др.).

2. Формирование научно обоснованной реакции на изменения государственной политики в отношении заповедных территорий. В августе 2018г. было принято постановление о преобразовании Тебердинского биосферного заповедника в Национальный парк. Это произошло, не смотря на протесты ученых и общественности.

Данное решение наносит удар заповедному делу в горах, подвергает большой опасности состояние хрупких горных экосистем, долгое время находившихся под охраной государства.

3. Усиление кооперации ученых – представителей различных отраслевых направлений. В настоящее время взаимодействие ученых различных наук, работающих в горах, слабое, что мешает формированию комплексного геоэкологического видения проблем развития горных территорий. При этом региональные организации, располагающие эмпирической базой и осуществляющие постоянные наблюдения в горных ландшафтах, имеет гораздо меньше шансов на получение грантов (которые в большей степени достаются столичным организациям и ученым).

18.07.2019г. Состояние и проблемы развития Северокавказского научного сотрудничества. Караев Ю.И. (Владикавказ).

Заседание секретариата Северокавказского Научного Сотрудничества открылось докладом председателя СКНС Караева Ю.И.

Присутствовали члены секретариата: Караев Ю.И., Гуня А.Н., Лысенко А.В., члены СКНС Онищенко В.В., Колобковский Е.Ю., Гагаева З.Ш., Петрушина М.Н., Дягтерева Т.В. и др. (всего 18 чел.).



Второй этап экспедиции прошел 20-30 июля 2019г. в пределах горной части Чеченской Республики, при поддержке факультета географии и геоэкологии Чеченского государственного университета (декан факультета, зав. кафедрой экологии и природопользования, к.б.н.У.Т.Гайрабеков). Задачи экспедиции 2019 года – посещение самых высокогорных и отдаленных районов Чеченской Республики с целью изучения динамики природных ландшафтов, оценки ресурсно-экологического потенциала систем расселения и жизнеобеспечения в районах, которые были покинуты, в связи с депортацией чеченцев в 1944 году. Основными методами полевых работ были: ландшафтное описание, комплексное физико-географическое профилирование и ландшафтное картографирование.

Следует отметить, что для изучаемых районов горной Чечни отсутствуют современные карты ландшафтов, растительности, использования земель. Полученные полевые материалы лягут в основу создания комплексного Атласа Аргунского историко-архитектурного музея-заповедника.

В процессе работы экспедиции проведены несколько круглых столов и заседаний Северокавказского Научного Сотрудничества, в которых обозначены приоритетные направления научных исследований в области устойчивого развития горных территорий Северного Кавказа, подтвержденные итогами I и II этапов комплексной экспедиции 2019 года.

### ***III. Северокавказское научное сотрудничество (СКНС)***

Северокавказское научное сотрудничество (СКНС) было создано по инициативе Горной группы МАБ-6 (ЮНЕСКО) Института географии РАН 10 октября 2014г. Цель создания СКНС – активизация научного сотрудничества в области устойчивого развития горных регионов Северного Кавказа.

В 2014г. инициативной группой СКНС было проведено анкетирование с участием потенциальных участников информационной сети региона. В результате получены ответы более 30 респондентов академических организаций и вузов (города Москва, Ростов-на-Дону, Краснодар, Ставрополь, Нальчик, Владикавказ, Грозный, Майкоп, Махачкала, Цхинвал). Было выражено общее мнение о том, что развитие и использование единой научной информационной сети создаст открытое дискуссионное и информационное пространство, которое будет способствовать активизации научных исследований и формированию единых подходов к обеспечению устойчивого развития региона.

Одновременно было решено использовать современные коммуникационные возможности, создав сайт, способствующий деятельности СКНС. Таким образом, базируясь на огромном научном потенциале институтов и университетов, работающих на Северном Кавказе, Северокавказское научное сотрудничество явилось свободной ассоциацией представителей широкого спектра научных направлений, обеспечивающих реализацию устойчивого развития горных регионов, сохранению биологического и культурного разнообразия социально-природных систем в условиях современных рисков и изменения климата.

Своей основной миссией Северокавказское научное сотрудничество считает координацию организационных мероприятий, направленных на обмен информацией, теоретическим и практическим опытом, объединение научной мысли и выработку практических рекомендаций, координацию научных программ и проектов, мобилизацию экспертного сообщества и развитие научной методологии и методов в области обеспечения геоэкологической безопасности Северного Кавказа и устойчивого развития его горных и высокогорных территорий.

Сайт СКНС (<https://ncscnew.jimdo.com/>) регулярно пополняется новостями, ведутся постоянные работы над его совершенствованием. На билингвальном сайте СКНС в настоящее время размещены 224 библиографические ссылки на публикации участников СКНС и 157 полезных ссылок на различные информационные ресурсы, в том числе 90 ссылок на электронные журналы, согласно сведениям, Государственной публичной научно-технической библиотеки России (ГПНТБ).

Для оперативного информирования участников Северокавказского научного сотрудничества, ежемесячно администрацией сайта СКНС осуществляются информационные рассылки о событиях, прошедших за истекший месяц и предстоящих в будущем.

На конец 2019г. на сайте зарегистрировано 62 участника СКНС, представляющих 11 субъектов Российской Федерации и 2 представителя зарубежных стран. В общей сложности, каждому участнику СКНС за период 2019г. направлено 12 информационных новостных рассылок с сайта СКНС.

Страница сайта «Научные издания (книги) / Scientific publications (books)» пополнилось новыми ссылками на литературу, посвященную устойчивому развитию:

1. Северокавказская комплексная экспедиция. Сборник трудов. Выпуск 1. / Научный редактор А.Н.Гуня. – Грозный: Чеченский государственный университет. – 2019. – 154с. (с доступом к скачиванию сборника в формате \*.pdf).

2. Jodi A.Hilti, Annika T.H.Keeley, Willian Zl. Lidicker Jr., Adina M. Merenlender. Экологический коридор. Второе издание. Взаимосвязь ландшафтов с сохранением биоразнообразия и адаптации к изменению климата. – 368с., 6х9, 25 фотографий, 25 иллюстраций (со ссылкой на сайт издательства).

3. Ефремов Ю.В. География Гималаев. / Издательство «Традиция». – 2019 (со ссылкой на фактический адрес издательства).

4. Баденков Ю.П. Жизнь в горах. Природное и культурное разнообразие – разнообразие моделей развития. / Издательство ГЕОС. – 2017. – 479с.

ISBN 978-5-89118-741-2 (со ссылкой на фактический адрес издательства).

С января 2019г. по декабрь 2019г. сайт СКНС посетили 761 новых уникальных пользователей из 34 регионов России и 8 зарубежных стран. Общее количество просмотров составило 1525. Динамика посещений положительная.

Наибольшая активность посещений в пределах Российской Федерации отмечалась из городов Краснодар, Москва, Ставрополь, Владикавказ, Грозный, Нальчик, Санкт-Петербург, Ростов-на-Дону, Минеральные Воды.

На долю зарубежных стран наибольшая активность посещения сайта СКНС пришлась на: Казахстан – 1,83%, США – 1,18%, Индия – 0,65%, Китай – 0,65%.

Анализ посещения различных страниц сайта свидетельствует о том, что наиболее популярными являются страницы сайта: «Главная страница» – 32%, «Рассылка» – 29,5%, «Main-page» – 8,89%, «Сообщения, письма/ Messages, letters» – 6,6%, «Конференции Северного Кавказа» – 6,4%. Посещение других страниц суммарно составило 16,6%.

#### ***IV. Проекты и программы научных исследований***

Приведены основные проекты и программы научных и научно-прикладных исследований устойчивого развития горных территорий.

**IV.1.** В 2019г. университет приступил к реализации нового проекта «Научное обоснование организации и функционирования на территории Республики Северная Осетия-Алания Глобального геопарка ЮНЕСКО «Горы Осетии».

**IV.2.** В отчетном периоде были продолжены исследования по переходящим проектам и программам:

IV.2.1. Проект «Актуальные проблемы и тенденции развития горных и предгорных территорий на муниципальном уровне».

IV.2.2. Проект «Пропаганда и апробация методов и методик природопользования национальных парков в горных регионах».

IV.2.3. Проект «Разработка индикаторов устойчивого развития горных муниципальных образований».

IV.2.4. Проект «Основные проблемы горных территорий с предприятиями – недропользователями».

#### ***V. Научные публикации***

Выборка части публикаций, выполненных на основе материалов проводимых исследований сотрудниками Центра «Горы» как самостоятельно, так и совместно с коллегами из других учреждений:

1. Васьков И.М. Крупномасштабные обвалы: геодинамика и прогноз. // Научная монография. Электронное издание Google, [электронный ресурс]. – М.: Издательство «Триумф». – 2019. – 365с.

2. Васьяков И.М. О механизме образования гляциальных селей и вопросы их классификации. // Труды IV Международной научно-практической конференции «Защита населения и территорий в чрезвычайных ситуациях». / Отв.редакторы В.Б.Болтыров, Л.А.Стороженко. – Екатеринбург: Издательство УГГУ. – 2019. – С.56-70.

3. Васьяков И.М., Лолаев А.Б., Тамаева М.Р. К вопросу о селевой опасности в долине Сказского ледника (Центральный Кавказ). // Грозненский естественнонаучный бюллетень. Научно-технический журнал. – 2019. – №3 (17). – Т.4 – С.13-23.

4. Васьяков И.М., Лолаев А.Б., Тамаева М.Р. Селевые потоки высокой плотности и варианты инженерной защиты на примере долины Сказского ледника (Центральный Кавказ). // Монография «Устойчивое развитие горных территорий Кавказа». / Научные редакторы И.А.Керимов, А.Н.Гуня, В.А.Широкова. – М.: ИИЕТ РАН. – 2019. – Т.II. – 689с.

5. Raisa Gracheva, Thomas Kohler, Rustam Gakaev, Konstantin Popov, Yuri Karaev. Turning migration into opportunity: North Caucasus.// Second Caucasus Mountain Caucasus Regional Research Agenda: Key to Sustainable Regional Development (30 October – 1 November 2019), Ankara University, Turkey, 2019.

6. Гуня А.Н., Гайрабеков У.Т., Гагаева З.Ш., Караев Ю.И., Мудуев Ш.С., Лысенко А.В., Петрушина М.Н., Чеченов А.М. Современные проблемы развития горных территорий и Северокавказские комплексные экспедиции 2014-2017 гг. // Сборник трудов Северокавказской комплексной экспедиции. / Отв. редактор А.Н.Гуня. – Грозный: Чеченский государственный университет. – 2019. – Выпуск 1. – 154с.

7. Гуня А.Н., Петрушина М.Н., Колбовский Е.Ю., Гайрабеков У.Т., Караев Ю.И., Гагаева З.Ш., Петров Л.А., Эльмурзаев Р.С., Серитханов С.М. VI Северокавказская комплексная экспедиция: изучение горных районов Чеченской Республики. // Монография «Устойчивое развитие горных территорий Кавказа». / Научные редакторы И.А.Керимов, А.Н.Гуня, В.А.Широкова. – М.: ИИЕТ РАН. – 2019. – Т.II. – 689с.

8. Гуня А.Н., Петрушина М.Н., Колбовский Е.Ю., Гайрабеков У.Т., Караев Ю.И., Гагаева З.Ш., Петров Л.А., Эльмурзаев Р.С., Серитханов С.М. Особенности освоения горных районов Чеченской Республики (по результатам VI Северокавказской комплексной экспедиции). / Сборник материалов IV Кавказского экологического форума «Человек в современном мире: экология, рекреация, туризм». – Грозный: Издательство ФГБОУ ВО «Чеченский государственный университет». – 2019. – 192с.

9. Гуня А.Н., Петрушина М.Н., Колбовский Е.Ю., Гайрабеков У.Т., Караев Ю.И., Гагаева З.Ш., Петров Л.А., Эльмурзаев Р.С. Физико-географическая дифференциация территории Чеченской Республики (по результатам работы на трансекте). // Сборник трудов Северокавказской комплексной экспедиции. / Отв. редактор А.Н.Гуня. – Грозный: Чеченский государственный университет. – 2019. – Выпуск 1. – 154с.

10. Гуня А.Н., Гайрабеков У.Т., Караев Ю.И., Лысенко А.В., Петрушина М.Н. Комплексные географические исследования на Северном Кавказе: некоторые перспективы и приоритетные направления. // Сборник трудов Северокавказской комплексной экспедиции. / Отв. редактор А.Н.Гуня. – Грозный: Чеченский государственный университет. – 2019. – Выпуск 1. – 154с.

11. Караев Ю.И. Применение дистанционных методов картирования объектов для повышения эффективности исследований в горах. // Материалы VII Всероссийской конференции с международным участием, посвященной 30-летию научной школы чл.-корр. РАН А.К.Темботова и 25-летию Института экологии горных территорий им. А.К.Темботова «Горные экосистемы и их компоненты». / Под редакцией чл.-корр. РАН Ф.А.Темботовой. – Нальчик, 15-20 сентября 2019г. – Махачкала: АЛЕФ. – 2019. – 264с.

12. Хузмиев И.К., Караев Ю.И., Козырев Р.Р., Козаев П.К., Гассиева О.И., Дзуцев Т.М. Предложения по социально-экономическому развитию горной зоны РСО-А. // Научные редакторы И.А.Керимов, А.Н.Гуня, В.А.Широкова. – М.: ИИЕТ РАН. – 2019. – Т.II. – 689с.

13. Хузмиев И.К., Кокаев В.В., Караев Ю.И. Устойчивое развитие и образование. Горные территории: приоритетные направления развития. // Сборник материалов IX Международной научно-практической конференции. Электронный ресурс. – Владикавказ: Северокавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), 4-7 декабря 2019г.

## ***VI. Международный научный журнал «Устойчивое развитие горных территорий»***

Международный научный журнал «Устойчивое развитие горных территорий» (<http://naukagor.ru/>) входит в список изданий, рекомендованных ВАК, а также в международную систему цитирования Scopus.

В соответствии с заключением Президиума ВАК Минобрнауки РФ от 23.03.2019г. статьи для публикации в Международном научном журнале «Устойчивое развитие горных территорий» принимаются по следующим отраслям и группам наук:

- Технические науки: 05.05.06 – Горные машины; 25.00.13 – Обогащение полезных ископаемых; 25.00.20 – Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика; 25.00.22- Геотехнология (подземная, открытая и строительная).
- Географические науки: 25.00.23 – Физическая география и биогеография, география почв и геохимия ландшафтов; 25.00.24 – Экономическая, социальная, политическая и рекреационная география.

Кроме того, в рамках международной базы цитирования Scopus, тематика журнала ориентирована на следующие отрасли и группы наук:

- Технические науки (Engineering);
- Науки о Земле и планетарные науки (Earth and Planetary Sciences);
- Наука об окружающей среде (Environmental Science).

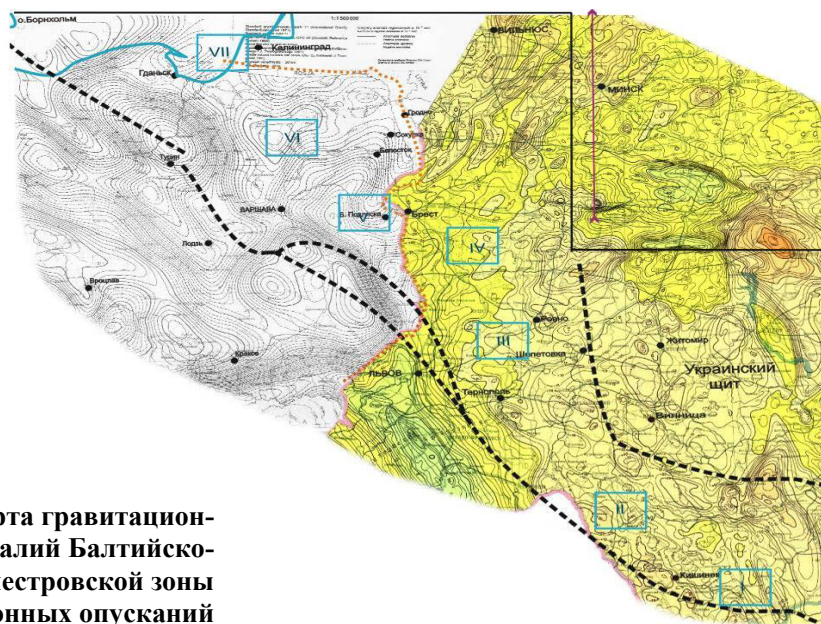
В 2019г. было подготовлено и издано 4 очередных номера журнала «Устойчивое развитие горных территорий», том 11, №№ 1-4, при этом №3 журнала был отчасти тематическим, в нем было опубликовано 4 статьи по теме «Роль культуры в области устойчивого развития в горах». Всего в 2019г. в 4 номерах журнала было опубликовано 43 статьи, из них по направлению «Науки о Земле» – 32 статьи (6 работ 15 зарубежных авторов, 27 работ 79 российских авторов и одна совместная работа 2 российских и 2 грузинских авторов); по направлению «Технические науки» – 19 статей (3 работы 12 зарубежных авторов и 16 работ 43 российских авторов), а также в рубриках «Научное мнение» – 2 работы (из них 1 работа – 3 вьетнамских авторов, 1 работа – 4 российских авторов) и «Хроника» – 1 материал.

### **2.28. ИНСТИТУТ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ**

Исследования в области горных наук выполняются в рамках государственной программы научных исследований «Природопользование и экология» на 2016-2020 годы, государственной научно-технической программы «Природопользование и экологические риски» на 2016-2020 годы, отдельных научных проектов. Ведутся научные исследования по углубленному изучению строения земной коры и литосферы, геодинамики, тектоники, региональной геологии, геоэкологии. Значительное место занимают вопросы геологических исследований, обеспечивающие устойчивое развитие геотехнологий.

1. Выполнены исследования по теме «Структурно-вещественные комплексы, строение и палеогеодинамические особенности эволюции Балтийско-Приднестровской пассивной окраины (БППО) в связи с оценкой минерагенического потенциала недр Беларуси». Анализ выполнен по двум разделам, составляющим единый комплексный подход, базирующийся на изучении геофизических полей и анализе геологической информации по Балтийско-Приднестровской пассивной окраине Восточно-Европейской платформы с детализацией исследований в пределах Подляско-Брестской впадины. В первой части работы приведена характеристика геофизической изученности структурно-вещественных комплексов анализируемых регионов по данным глубинных геофизических исследований, включающая гравитационные и магнитные поля вдоль зоны Тейссейра-Торнквиста (рисунок 1).

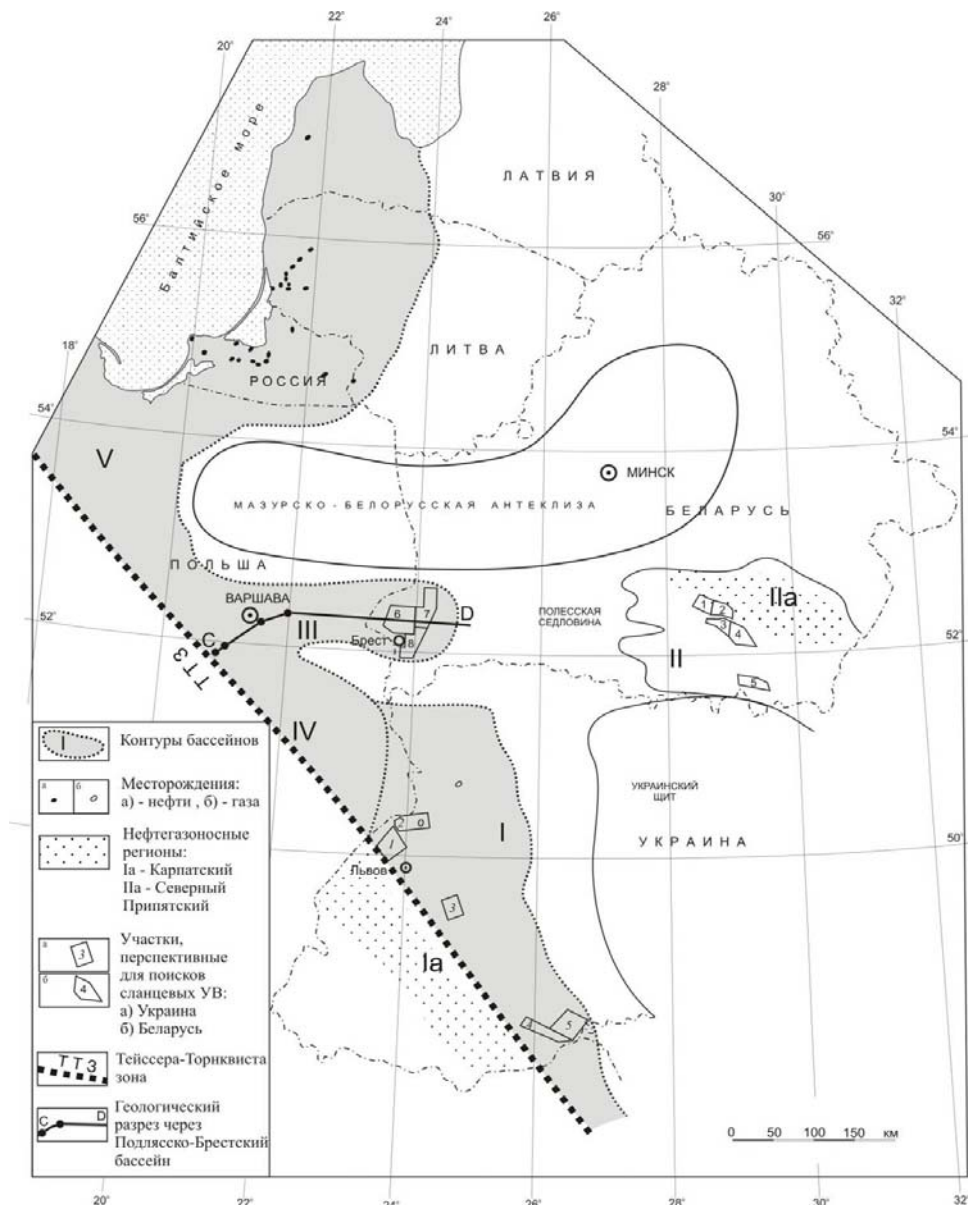
В пределах этой территории, включающей Молдавскую моноклиналь, Северо-Молдавское поднятие, Волыно-Подольскую впадину, Луковско-Ратновский выступ, Подляско-Брестскую впадину, Мазурский выступ и Балтийскую синеклизу выделено семь анализируемых участков. Каждый из них характеризуется особенностями геологического строения (глубина залегания поверхности фундамента), геофизических полей (гравитационное, магнитное), представленной в таблице 1.



**Рисунок 1 – Карта гравитационных аномалий Балтийско-Приднестровской зоны перикратонных опусканий и сопредельных областей**

**Таблица 1  
Гравитационно-магнитная характеристика основных структур фундамента Балтийско-Приднестровского перикратонного опускания**

Геологическая структура	Рельеф фундамента	Гравитационное поле	Магнитное поле
Молдавская моноклинали	Градиентное падение рельефа на север от 2-х до 1,5 км	Узко линейный слабый минимум, пересекающий структуру в субмеридиональном направлении	Относительно слабое отрицательное поле порядка 100 нТл
Северо-Молдавское поднятие	Слабо выраженное изогипсой поднятие порядка менее 0,5 км	Высоко градиентное поле; зона перехода интенсивной положительной +30 мГал аномалии на западе на относительно слабый минимум около 5 мГал на востоке	Сложно построенная структура аномального поля – чередование положительных и отрицательных аномалий.
Вольно-Подольская впадина	Градиентный рельеф с падением на запад от 1-го до 2,5 км	Слабо интенсивный положительный «залив» северо-западного простираения порядка 15-5 мГал	Градиентное поле, изменяющееся с запада на восток на от +400 до -100 нТл
Луковско-Ратновский выступ	Ярко выраженное поднятие, контролируемое на западе и на востоке разломами	Слабовыраженное градиентное поле с падением на запад на 15 мГал	Относительно слабое положительное поле порядка 100 нТл
Подляско-Брестская впадина	Впадина порядка 1,5-2,0 км, фиксируемая изгибом изолиний	Значительное по интенсивности отрицательное поле в виде «залива» юго-западного простираения	Слабая отрицательная аномалия около 100 нТл
Мазурский выступ	Выражен выступом изолиний в западном направлении от 1-го до 2-х км	Ярко выраженный максимум значительной интенсивности 8-10 мГал, северо-восточного простираения	Четко выраженная слабая отрицательная аномалия порядка 100 нТл
Балтийская синеклиза	Ярко выражена впадиной в рельефе фундамента, падающего в юго-западном направлении от 2.5 до 6-7 км	Интенсивная отрицательная аномалия порядка 15-20 мГал северо-восточного простираения, приуроченная к Балтийскому морю	Сложная структура аномального поля – чередование положительных и отрицательных аномалий.



**Бассейны: I – Вольно-Подольский; II – Припятский; III – Подляско-Брестский; IV – Люблинский; V – Балтийский. Участки, перспективные для поисков сланцевых УВ: Украина (цифры курсивом): 1 – Рава-Русский, 2 – Белзский, 3 – Восточнолещинский (Олесский), 4 – Давыдовский, 5 – Байраковский; Беларусь: 1 – Калиновский, 2 – Октябрьский, 3 – Комаровичский, 4 – Савичский, 5 – Ельский, 6 – Каменецкий, 7 – Шерешовский, 8 – Жабинковский.**

**Рисунок 2 – Карта распределения нефтегазоносных бассейнов юго-западной части Восточно-Европейской платформы**

Во второй части исследований выполнен анализ работ по оценке потенциала нетрадиционного углеводородного сырья в пределах Вольно-Подольского, Припятского, Подляско-Брестского, Люблинского, Балтийского бассейнов (рисунок 2). В каждом из этих бассейнов выделено по три-пять тестовых участков для отработки технологии геологического изучения нетрадиционного углеводородного сырья.

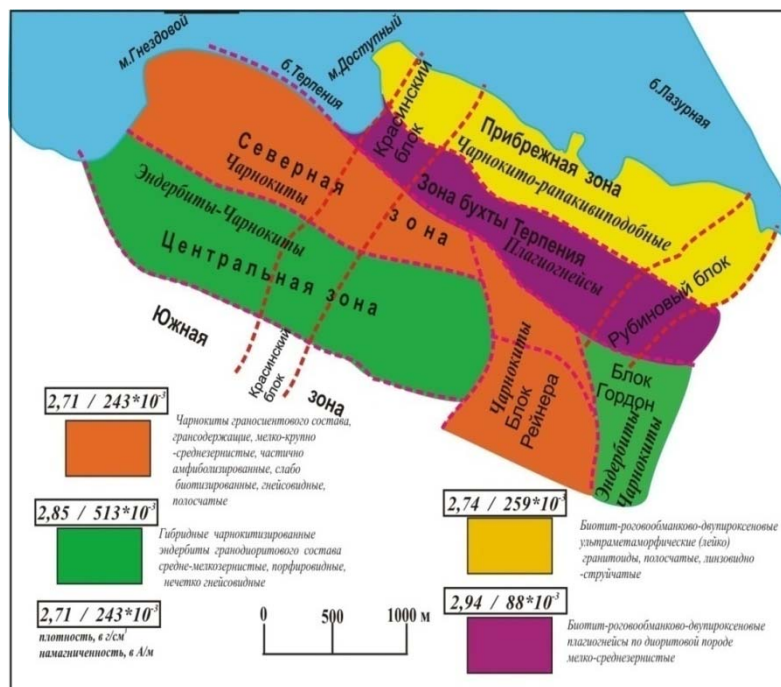
2. Выполнен анализ материалов детальной микромагнитной съемки по результатам работ 9 и 10 антарктических экспедиций (2017 г., 2018 г.) на участках Вечернегорской площади в аспекте возможности построения карты магнитных аномалий модуля полного вектора поля; информация переведена на компьютерные носители.



Построен комплект из 4-х геофизических карт по Вечернегорской площади: Т- магнитных аномалий, петрофизическая, вещественного состава, разломов. Выполнены испытания новых магнитометров на локальных полигонах Беларуси.

В результате анализа магнитных площадных измерений на Вечернегорской площади получены материалы, обеспечивающие в последующем прогноз минерально-сырьевой базы Вечернегорской площади на 4 перспективных участках. Разработан комплект геолого-геофизических карт, включающий две карты аномального магнитного поля (Т, Z), карты районирования магнитного поля с выделением блоков магнитной однородности, карту разломов, петрофизическую карту, карту вещественного состава пород, карту кристаллического фундамента (рисунок 3).

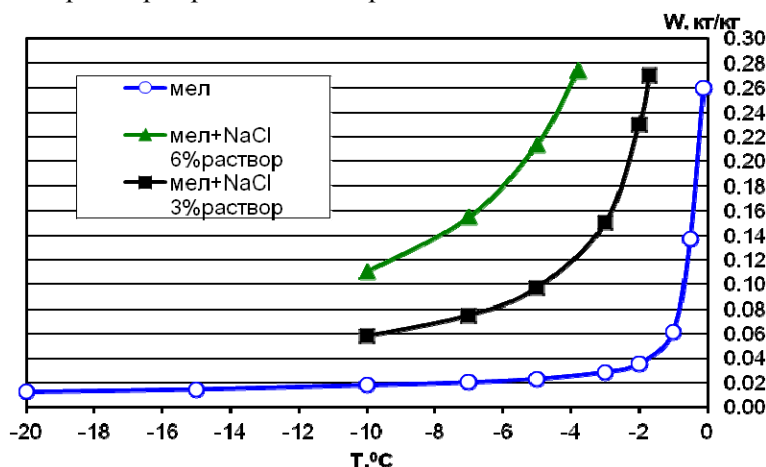
Подробно охарактеризованы результаты связи магнитных аномалий с вещественным составом возмущающих масс, составлена методика построения магнитных карт по данным площадных геомагнитных измерений, физико-геологические модели глубинного строения Земли Эндерби. Разработан проект геодинамического полигона для мониторинга вековых вариаций геофизических полей, реализация которого в последующем обеспечит высокую геологическую эффективность этого метода. Кроме того, с целью технологического контроля процесса измерений магнитного поля на Вечернегорском геодинамическом полигоне, учитывая геологическую близость Земли Эндерби к Белорусско-Прибалтийскому гранулитовому поясу, разработан специальный экспериментально-эталонный Молодечненский полигон.



**Рисунок 3 – Карта вещественного состава пород фундамента Вечернегорской площади с элементами петрофизической характеристики**

3. Исследовано влияние концентрации солей на компрессионные свойства и равновесное влагосодержание типичных горных пород при различном горном давлении. Установлено уменьшение равновесного влагосодержания горных пород, подвергающихся воздействию горного давления, при увеличении концентрации в поровых растворах минеральных солей. Оценены вариации водно-физических и теплофизических свойств горных пород с глубиной их залегания, а также концентрацией в поровом растворе солей (рисунок 4).

Получены данные о влиянии концентрации солей на влагоперенос при промерзании и характеристики морозного пучения типичных горных пород.



**Рисунок 4 – Зависимость количества незамерзшей воды от температуры в меле при наличии в поровом растворе соли**

Разработано программное обеспечение прогноза и регулирования формирования температурно-влажностного режима в промерзающих горных породах при наличии в них минеральных солей.

Полученные данные позволят разработать эффективный способ прогнозирования свойств горных пород в зависимости от их состава.

#### Литература

1. Айзберг Р.Е., Грибик Я.Г., Бескопыльный В.Н. Нетрадиционные источники углеводородного сырья в недрах Беларуси // Природопользование. – 2019. – № 1. – С.171-187.
2. Гарецкий Р.Г., Каратаев Г.И., Сушкевич С.В., Хибиев А.К. Глубинное строение литосферы Балтийско-Приднестровского перикратонного опускания // Природопользование. – 2019. – № 1. – С.134-145.
3. Гарецкий Р.Г., Каратаев Г.И. Слободский тектоно-геодинамический омутообразный узел в центре Восточно-Европейской платформы // Літасфера.– 2019. –№ 2 (51). – С.165-178.
4. Гарецкий Р.Г., Каратаев Г.И., Голобоков С.В., Мясников О.В., Сушкевич С.Л., Хибиев А.К., Шаблыко П.В. Тектонофизическая природа вариаций во времени гравитационного и магнитного полей Новогрудско-Воложинско-Молодечненской аномалии Беларуси // Літасфера. – 2019. – № 2 (51). – С. 45-55.
5. Грибик Я.Г., Айзберг Р.Е., Бескопыльный В.Н. Приоритетные и перспективные направления геологоразведочных работ на нетрадиционные источники углеводородного сырья в недрах Беларуси // Літасфера. – 2019. – № 2 (51). – С.122-137.
6. Айзберг Р.Е. Припятский ареал позднедевонского магматизма и его связь с плюм-тектоникой Днепровского сегмента литосферы // Доклады НАН Беларуси. – 2019. – № 5.– Т. 63. – С.593-607.
7. Бровка Г.П., Мурашко А.А. Процессы структурообразования в промерзающих горных породах // Природопользование. – 2019 г. – №2. – С. 207-215.
8. Бровка Г.П. Фазовый состав воды промерзающих торфов и заторфованных грунтов Республики Беларусь и регионов Крайнего Севера Российской Федерации // Материалы XV общероссийской научно-практической конференции «Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации». – г. Москва. 26-29 ноября 2019 г. – С. 318–324.

## 2.29. КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. К.И. САТПАЕВА

По научно-технической программе № BR05235618 «Модернизация технологий и производств в горнодобывающей и горноперерабатывающей отраслях Республики Казахстан» (научный руководитель, д.т.н., проф., академик НАН РК Ракишев Б.Р.) в 2019 году получены следующие результаты:

### *По направлению – Разработка месторождений полезных ископаемых*

**Проект 1. Создание систем автоматизированного проектирования рациональных параметров буровзрывных работ и их результатов на карьерах Казахстана** (научный руководитель д. т.н., проф., академик НАН РК Ракишев Б.Р.)

*Этап 2. Разработка программно-технических модулей «Гранулометрический состав взорванной горной массы», «Прогнозирование размещения разнородных пород в развале»*

Цифровизация горно-металлургического комплекса является одним из ключевых вопросов при добыче минерального сырья, который позволяет повысить эффективность передела и упростить дальнейшую переработку руды. Установлены закономерности формирования гранулометрического состава взорванных горных пород в зависимости от различного сочетания физико-механических свойств пород массива, химико-физических характеристик применяемого взрывчатого вещества (ВВ), параметров буровзрывных работ (БВР) и разработан теоретический метод определения гранулометрического состава взорванных пород. Установлены закономерности определения скорости разлета кусков породы при скважинном взрывании; получены аналитические выражения для определения ширины отброшенной части развала горной породы; введено понятие о координатных сетках взрывааемого и взорванного блоков уступа; определены структурные характеристики развала породы в зависимости от фракции кусков

горной породы. Разработаны программно-технические модули «Гранулометрический состав взорванной горной массы» и «Прогнозирование размещения разнородных пород в развале» на базе системы SCADA [1-3].

**Проект 2. Создание методологии проектирования процесса перехода на циклично-поточную технологию (ЦПТ) в глубоких карьерах с автомобильно-железнодорожным транспортом** (научный руководитель д. т.н., проф. Молдабаев С.К.)

*Этап 2. Планирование развития транспортной системы перед переходом на ЦПТ*

Создана методология проектирования процесса перехода на циклично-поточную технологию (ЦПТ) в глубоких карьерах с автомобильно-железнодорожным транспортом. Разработана методика реконструкции транспортной системы на ЦПТ и апробирована для условий Качарского карьера ССГПО. Разработан метод выбора целесообразного положения конечных и текущих контуров карьера, обеспечивающих полноту выемки запасов руды при минимальном разnose их бортов на различной глубине. Установлено, что до подхода горных работ к предельному поверхностному контуру сверхглубокого Качарского карьера текущие объемы выемки вскрышных пород, по сравнению с проектом, можно уменьшить на 22 – 27 %, а требуемый для освоения участок недр (горный отвод) для перспективного Еристовского карьера сократить на 6 %. Установлено, что схема с полной ликвидацией транспортных целиков целесообразна при строительстве транспортной конвейерной галереи или скиповых рельс на дорабатываемом борту и при вскрытии глубоких горизонтов карьера. Установлены зависимости динамики роста расстояния и себестоимости транспортирования горной массы от высоты ее подъема для железнодорожного, автомобильного транспорта и скипового подъемника для условий сверхглубокого Качарского железорудного карьера. Расширена классификация транспортных средств для оптимального их выбора на открытых горных работах, что позволило составить систематизацию подъемно-транспортного оборудования для зоны доработки глубоких и сверхглубоких карьеров [4,5].

**Проект 3. Разработка и внедрение технологии, систем и средств активного крепления горных выработок с учетом напряженно-деформированного состояния массива приконтурных пород** (научный руководитель д.т.н., профессор Демин В.Ф.)

*Этап 2. Разработка технологических схем, способов крепления горных выработок с созданием многоцелевых активных средств крепления. Защита интеллектуальных прав на созданную продукцию.*

Разработаны технологические схемы крепления горных выработок с управлением техногенным состоянием горного массива. Выполнено моделирование напряженно-деформированного состояния углепородного массива горных пород, сформирована технологическая схема опережающего анкерного крепления для неустойчивых вмещающих пород. Создан способ крепления вмещающего массива горных выработок с учетом прочностных характеристик пород: технология предотвращения завалов горных выработок при их проведении в неустойчивых породах. Сформирована технологическая схема крепления горных выработок с управлением техногенным состоянием горного массива–крепления монтажных камер для условий отработки верхнего слоя пласта д6 шахты им. Ленина Карагандинского угольного бассейна. Разработаны многоцелевые активные средства крепления с учетом строения и технологических параметров вмещающего углепородного массива, по которым подготовлена техническая документация на: составной канатный анкер; комбинированный анкер для глубокого заложения при двухуровневом креплении кровли горных выработок с увеличенной шириной и в зонах повышенного горного давления. Проведены опытно-промышленные испытания канатных анкеров АК18 в шахтных условиях Карагандинского угольного бассейна [6,7].

**Проект 4. Разработка технологии выемки и извлечения золота из бедных рудных жил** (научный руководитель д.т.н., проф. Юсупов Х.А.)

*Этап 2. Лабораторные исследования по установлению влияния физико-химических свойств рабочего раствора на степень извлечения.*

Предложена технология активации выщелачивающего раствора, позволяющая повысить извлечение золота при кучном выщелачивании. Проведены лабораторные исследования по ус-

тановлению влияния физико-химических свойств рабочего раствора на степень извлечения. Получены зависимости показателей извлечения от физико-химических свойств рабочего раствора. Предлагаемая механическая активация раствора до подачи ее в рудный штабель повышает содержание золота в продуктивном растворе от 8 до 67 %, в среднем на 28 % по сравнению с базовой технологией кучного выщелачивания.

**Проект 5. Разработка и внедрение геоинформационной системы управления рисками в условиях повышенной интенсивности освоения месторождения** (научный руководитель д.т.н., проф. Байгурин Ж.Д.)

*Этап 2. Создание базовой топографической основы исследуемой территории месторождения с использованием актуальных данных дистанционного зондирования и топографо-геодезических измерений*

Выполнен когерентный анализ тандемных пар космической съемки на тестовых месторождениях для получения топографической основы в цифровом виде. Создана цифровая карта смещений горного массива земной поверхности на основе результатов КРИ по тестовым месторождениям. Предложен метод зонирования поверхности месторождения по степени ослабленности с учетом энергетического критерия разности потенциальной энергии между состояниями неустойчивого и устойчивого равновесия элемента горного массива [8]. Разработан метод зонирования с учетом коэффициента подуровней для детализации и верификации точности повышения районирования по энергетическому критерию на 15-20 % относительно традиционных методов. Созданы опорно-геодезические сети для топографо-геодезических измерений смещений земной поверхности на ослабленных участках месторождения.

**Проект 6. Совершенствование нормирования вскрытых, подготовленных и готовых к выемке запасов при разработке месторождений полезных ископаемых** (научный руководитель к.т.н., доцент Рысбеков К.Б.)

*Этап 2. Обоснование нормирования вскрытых, подготовленных и готовых к выемке запасов при разработке месторождений полезных ископаемых открытым и подземным способом с учетом системы разработки, технологических процессов на конкретном горнодобывающем объекте и усреднения руды*

Построены блочные модели подземной горной выработки и цифровая топологическая модель (ЦТМ) – модель карьера. Обосновано нормативное число выемочных единиц с учетом производительности предприятия и показателей качества руды. Установлен коэффициент резерва  $K_1=1,15$  и  $K_2=1,2$  для исследуемого объекта (подземного) с годовой производительностью варьируемый в пределах от 1308,00 до 3500 тыс. т / год, который подтверждает количество и качество добываемой руды. Коэффициент резерва  $K_1=1,05$  (для открытых) с учетом геологических факторов. Изучено влияние числа выемочных единиц на усреднение качества руды при различных системах разработки. Предложено забойное усреднение руды [9,10].

**Проект 7. Совершенствование технологии открытых горных работ путем создания временных внутренних отвалов** (научный руководитель к.т.н., проф. Кузьмин С.Л.)

*Этап 2. Разработка технологии формирования временных внутренних отвалов и схемы работы оборудования. Расчет экономического эффекта при использовании временных внутренних отвалов*

Для укладки породы во временные внутренние отвалы применяется автомобильный транспорт большой грузоподъемности, что позволит существенно увеличить производительность машин и снизить себестоимость перевозки. Разработанные новые технологические схемы ведения горных работ при формировании временных внутренних отвалов позволили произвести выбор оптимального горного оборудования. Применяемая для отгрузки породы из временного внутреннего отвала контейнерная технология транспортирования горной массы отличается экологической безопасностью и меньшим энергопотреблением, чем существующие способы транспортирования горной массы. С помощью метода калькуляции затрат рассчитана себестоимость образования постоянных и временных отвалов и расходы на их ликвидацию, при этом затраты на перемещение породы во внутренние отвалы уменьшаются в 9 раз по срав-

нению с транспортированием горной массы за пределы карьера. В результате компьютерного моделирования определена пороговая цена, которая позволяет заниматься ликвидацией временных внутренних отвалов без потери прибыли и рентабельности производства, при этом пороговая рентабельность составляет 31,48 %, а допустимый пороговый уровень цены – 8746,2 тенге (22,6 доллара), что позволяет полученной выручке покрывать как переменную, так и постоянную составляющие [11].

**Проект 8. Разработка технологии изготовления малообъемных конструкций из фибробетонов** (научный руководитель к.т.н., доц. Елемесов К.К.)

*Этап 2. Отработка технологии литья корпусных деталей из фибробетонов*

Установлены основные факторы, влияющие на прочность корпусов центробежных насосов, проведена оценка свойств фибробетонов, а также оценка прочности полимерного связующего в зависимости от содержания дисперсного наполнителя и его удельной поверхности, подобраны фиброволокна, отвечающие условиям работы центробежных насосов. Отработана технология изготовления форм для литья корпусных деталей центробежных насосов из фибробетона и технология подготовки фибробетонных смесей к отливке из них деталей. Разработаны «Технологическая инструкция по технологии приготовления фибробетонной смеси», «Технологическая инструкция на литье корпусов центробежных насосов (улиты) из фибробетона». Получен корпус центробежного насоса из фибробетона, на который представителями АО «Алматинский завод тяжелого машиностроения» был составлен Акт внешней оценки качества отливок корпуса центробежного насоса [12].

**По направлению – Системы обогащения, комплексного извлечения, переработки природного и техногенного рудного сырья**

**Проект 9. Разработка технологии извлечения вольфрамового, медного, молибденового и оловянного концентратов из лежалых хвостов** (научный руководитель к.т.н., проф. Шаутенов М.Р.)

*Этап 2. Изучение физико-химических свойств, определение технологических параметров обогащения хвостов Жамбылской ОФ, расчет схемы и оборудования*

Изучены физико-химические свойства, определены технологические параметры обогащения хвостов Жамбылской ОФ, проведен расчет схемы и технологического оборудования. Показана возможность получения методом флотации молибденового промпродукта с массовой долей молибдена 47,5 % и массовой долей меди 0,46 %. Электрохимической хлоринацией молибденового промпродукта получен кондиционный молибденовый концентрат с содержанием молибдена 50,5 % при извлечении в него молибдена 99,2 % по отношению к питанию электрохимической хлоринации молибденового промпродукта. Разработана оптимальная технологическая схема получения кондиционного молибденового концентрата и технологический режим в операциях флотоклассификации, флотации и электрохлоринации. Экспериментальные исследования извлечения меди из медного промпродукта показали возможность извлечения меди в раствор 88,3 % при продолжительности процесса 12 часов. Исследования по осаждению меди из продуктивного раствора электрохимической хлоринации выполнены при изменении рН раствора до значений рН гидратообразования меди. Эксперименты по осаждению при рН раствора 6 – 7 показали, что возможно получение медного концентрата с массовой долей меди 45,9 % при извлечении в него меди по отношению к исходному раствору 98,85 %. Хвосты коллективной сульфидной флотации подвергнуты оловянной флотации. В результате оловянной флотации получен пенный продукт с массовой долей олова 11,16 % при извлечении в него олова 99,63 % и камерный продукт с массовой долей  $WO_3$  51,82 % при извлечении в него  $WO_3$  92 – 95 % [13].

**Проект 10. Внедрение промышленной биотехнологической установки для интенсификации подземного скважинного выщелачивания урана** (научный руководитель к.т.н., проф. Турысбекова Г.С.)

*Этап 2. Провести опытно-промышленные испытания на установке при подаче растворов на блоки ПСВ*

Проведены опытно-промышленные испытания на установке БОЖ при подаче растворов на блок № 62 уранового рудника «Семизбай», которые показали применимость данной технологии бактериального окисления железа для интенсификации ПСВ урана. Модификация биореактора заключалась в изменении его внутреннего устройства: был понижен уровень раствора в биореакторе в два раза, при этом количество иммобилизатора было увеличено почти 1,5 раза. Использование модифицированной установки на полигоне уранового рудника показало более высокие показатели по ОВП активированного выщелачивающего раствора на 10–20 %. Кроме того, такая система позволила более полно обеспечить аэрацию как раствора, так и всей массы иммобилизатора в биореакторе.

**Проект 11. Разработка технологии переработки отработанного активированного угля с получением золотосодержащего продукта на золотоизвлекательных фабриках** (научный руководитель к.т.н. Бектай Е.К.)

*Этап 2. Проведение исследований на модифицированной установке опытно-промышленного использования*

Проведены опытно-промышленные испытания на установке для переработки отработанного активированного угля золотоизвлекательной фабрики «Амбакай». Была выявлена необходимость более точной настройки по температуре и снижению уноса пылевидного золота из установки при отделении угля из пробы. Установка была модифицирована с возможностью регулирования температуры процесса (до 650 °С). Отработаны режимы и параметры работы установки, условия обработки материала. Кроме того, в установку загружается исходный золотосодержащий уголь с добавлением специального реагента, что обеспечивает эффективное отделение угля. Снижение содержания активированного угля с 40 % до 1 % подтверждает эффективность работы установки. Дальнейшее цианирование промпродукта, полученного на установке, позволило получить извлечение золота (по кеку) 63–65 % и при дополнительном свертонком измельчении промпродукта – 83 %

По результатам проведенных работ по ПЦФ №BR0523561 в 2019 году опубликованы 2 монографии, 30 статей, в том числе 12 статей в научных изданиях, индексируемых базами данных Web of Sciences и Scopus, 30 докладов на международных конференциях (1 доклад – в базе данных Scopus); получено 3 патента Республики Казахстан и 1 объект интеллектуальной собственности, поданы 2 заявки на изобретение.

#### **Основные публикации:**

1. Ракишев Б.Р., Абишева З.С., Барменшинова М.Б. Модернизация технологий и производств – решающий фактор в горнодобывающей и горно-перерабатывающей отраслях // Горный журнал Казахстана. – Алматы, 2019. – №12 – С.6-11.
2. Ракишев Б.Р. Отработка медных руд Бозшакольского и Актогайского месторождений Казахстана // Горный журнал – М., 2019. – №1 – С.89-93.
3. Ракишев Б.Р. Горно-металлургический комплекс и развитие цивилизации // Горный журнал – М., 2019. – №9. – С.33-37.
4. Kuzmenko S.V., Kaluzhnyi Ye.S., Moldabayev S.K., Shustov O.O., Adamchuk A.A., Toktarov A.A. Optimization of the position of the complexes of cyclic-flow technology in the refinement of deep iron ore quarries// Mining of Mineral Deposits, 2019. – Vol.13. – Issue 3. – Pp.104-112.
5. Chetveryk M., Bubnova O., Babii K., Shevchenko O., & Moldabaev S. Review of geomechanical problems of accumulation and reduction of mining industry wastes, and ways of their solution // Mining of Mineral Deposits, 2018. – Vol. 12. – Issue 4. – Pp. 63-72.
6. Diomin V.F., Khalikova E.R., Diomina T.V., Zhurov V.V. Studying coal seam bedding tectonic breach impact on supporting parameters of mine workings with roof bolting // Scientific bulletin of National Mining University. – Dnepr, 2019. – №5. – Pp.16-21.
7. Демин В.Ф., Мусин Р.А., Ахматнуров Д.Р., Садыков А.С., Двужилова С.Н. и др. Способ крепления горных выработок / Патент РК №33721. – Бюл. №26 от 28.06.2019.
8. Байгурин Ж.Д., Спицын А.А., Имансакипова Б.Б., Кожасев Ж.Т., Имансакипова Н.Б. Способ разработки полезных ископаемых в ослабленных зонах месторождений полезных ископаемых/ Патент на изобретение №33566. – Алматы: КазНИТУ. Дата регистрации в государственном реестре изобретений РК 02.04.2019.



9. Калыбеков Т., Рысбеков К.Б., Токтаров А.А., Отарбаев О.М. Планирование подземных горных работ с учетом подготовленности запасов полезных ископаемых // Неделя горняка – М.: ГИАБ, 2019. – №5 – С.34-43.

10. Калыбеков Т., Рысбеков К.Б., Солтабаева С.Т., Турсбеков С.В. Изучение влияния усреднения руд на обоснование подготовленности запасов на горных работах // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. – Серия естественно-технических наук. – Бишкек, 2019. – Том 19. – №4 – С.86-92.

11. Śladkowski A., Utegenova A., Kuzmin S, Rakishev B., Stolpovskikh I. Energy advantages of container transport technology in deep careers. // **Scientific Bulletin of National Mining University**, 2019. – №5 (173). – Pp.29-34.

12. Krupnik L., Yelemessov K., Bortebayev S., Baskanbayeva D. Studying fiberreinforced concrete for casting housing parts of pumps // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – Kharkiv, 2018. – 6/12(96). – P.22-27.

13. Шаутенов М.Р., Морозов Ю.П., Шевченко А.С., Акказина Н.Т. Исследования по гравитационно-флотационному обогащению техногенного вольфрамсодержащего сырья // Горный журнал Казахстана. – Алматы, 2019. – №9. – С.27-29.

***По грантовому финансированию научных исследований в 2019 году получены следующие результаты:***

***По приоритету: 1.*** *Рациональное использование природных, в том числе водных ресурсов, геология, переработка, новые материалы и технологии, безопасные изделия и конструкции.*

***Проект 1. Разработка новой технологии подземного выщелачивания урана с применением комплекса химических реагентов синергетического действия для скважинной добычи урановых руд – AP05131477*** (научный руководитель д.т.н., проф., академик НАН РК Ракишев Б.Р.)

*Краткие выводы по результатам НИР:* анализ механизмов окислительно-восстановительных процессов скважинной добычи урана позволил разработать комплекс химических реагентов, в который вошли САК, ЛСТ, БФА. Проведены лабораторные работы по агитационному выщелачиванию урана из керновых проб, а также исследования по выщелачиванию урана в трубках с применением комплекса химических реагентов синергетического действия. Анализ результатов исследований показал, что при добавлении комплекса происходит повышение содержания урана на 24-ом часе агитации до 85 мг/л при извлечении 94.5 %, когда на стандартном опыте содержание урана не превысило 77 мг/л, а извлечение 85.5 %. Анализ влияния химических реагентов на окислительно-восстановительный потенциал показал, что при добавлении комплекса рН продуктивного раствора понижается до значений 0.27, а значение Eh увеличивается до 472 мВ, когда на стандартном опыте значения рН составляет 0.98, Eh 437 мВ. Анализ влияния химических реагентов на рудовмещающие породы показал максимальное содержание железа (III), в 180 мг/л, при стандартном опыте в 150 мг/л, являющийся окислителем урана (IV). Исследования разрушающей способности комплекса химических реагентов синергетического действия осадкообразований скважинной добычи урана показал растворение 70 % гипса. Разработана технология приготовления и подачи комплекса химических реагентов в продуктивный горизонт, соответствующая требованиям промышленной безопасности при геологоразведке и добычи урана методом подземного выщелачивания.

*Результаты оценки технико-экономической эффективности разработки:* разработаны и обоснованы эффективные параметры применения комплекса химических реагентов синергетического действия при интенсификации скважинной добычи урана в сложных горно-геологических условиях. Эти данные позволят разработать эффективные методы повышения извлечения, разрушения и предотвращения осадкообразования при скважинной добычи урана, восстанавливать проницаемость продуктивного горизонта, повышать производительность и период бесперебойной работы технологических скважин.

*Перечень опубликованных работ по теме за 2019 год:*

1. Ракишев Б.Р. Горно-металлургический комплекс и развитие цивилизации. // Горный журнал. – 2019. – №9. – С. 33-37.

2. Ракишев Б.Р., Матаев М.М., Кенжетаев Ж.С. Исследование минералогического состава осадкообразований в условиях скважинной добычи урана. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – №7. – С. 123-131.

3. Rakishev B.R., Bondarenko V.I., Matayev M.M., Kenzhetaev Z.S.. Study of multifunctional purpose chemical reagents complex influence on intensification of well extraction of uranium. // Научный Вестник Национального горного университета. – 2019. – №6.

4. Ракишев Б.Р., Матаев М.М., Алтынбек А.Д., Кенжетаев Ж.С. Инновационные методы интенсификации скважинной добычи урана в рудах с низкими фильтрационными характеристиками. // Международная научно-практическая конференция «Инновационные технологии – ключ к успешному решению фундаментальных и прикладных задач в рудном и нефтегазовом секторах экономики РК». – Алматы, 10-11 апреля 2019. – С. 659-663.

5. Ракишев Б.Р., Матаев М.М., Алтынбек А.Д., Кенжетаев Ж.С. Влияние химических реагентов на фильтрационные характеристики продуктивных пластов скважинной добычи урана. // Международная научно-практическая конференция «Рациональное использование минерального и техногенного сырья в условиях Индустрии 4.0». – Алматы, 14-15 марта 2019. – С. 263-266.

**Проект 2. «Разработка бесцианидной технологии извлечения золота из труднообогатимого природного и техногенного минерального сырья» – AP05133041** (научный руководитель д.т.н., проф. Бегалинов А.Б.)

*Краткие выводы по результатам НИР.* На основании проведенных исследований согласно календарного плана работ на 2019 год можно сделать следующие выводы:

Проведен анализ по механохимии минералов при механической активации.

Проведены исследования по супертонкому измельчению золотосодержащих сульфидных руд. Механоактивационное измельчение проведено с целью вскрытия тонкодисперсного золота.

Исследованиями по повышению извлечения золота флотацией на основе более тонкого измельчения руды установлено, что с увеличением тонины помола руды снижается содержание золота в хвостах флотации до 0,7г/т. Максимальное извлечение золота в концентрат составило 84,59 %.

Сорбционное цианирование механоактивированной смеси флотационных концентратов, также приводит к снижению содержания золота в хвостах цианирования.

Необходимая продолжительность механоактивации составила 9-12 мин. после которой содержание класса менее 10 мкм в активированном материале составила 93,94 % по классу менее 40 мкм. Хвосты сорбции получены с содержанием золота 0,31г/т, извлечение золота в раствор от операции составило 85,65 %.

Исследования по механохимической активации сульфидного золотосодержащего сырья показали более высокую эффективность этого метода при условии проведения этой операции, во-первых, в щелочной среде, а также в присутствии кислорода воздуха и ионов меди, во-вторых, при использовании в последующей операции выщелачивания измельченного продукта сульфит-тиосульфатного реагента. Такой метод переработки сульфидного сырья может обеспечить высокие показатели извлечения золота в раствор на обоих переделах и позволяет трансформировать в тиосульфатное соединение и использовать в качестве реагента значительную часть собственной сульфидной серы в сырье.

Работа будет продолжена в направлении уточнения и оптимизации параметров процессов на обоих переделах разрабатываемой технологии. В первую очередь следует установить оптимальное время выщелачивания измельченного сульфидного продукта. Кроме этого планируются более глубокие исследования по поиску методов улучшения показателей извлечения золота путем дополнительного повышения в этих процессах окислительного потенциала среды, как за счет использования реагентов, так и за счет электрохимического воздействия.

*Оценка полноты решения поставленных задач.* Результаты исследований, полученные в ходе реализации проекта, станут одним из значимых в решении проблемы извлечения золота из упорного труднообогатимого минерального золотосодержащего сырья. Предлагаемая технология переработки сырья, по сравнению с используемой в настоящее время цианидной технологией, является экологически безопасной и экономически эффективной. Применяя на прак-

тике разработанные технологии можно вовлечь в отработку запасов золотосодержащего сырья, которые в настоящее время не рассматриваются даже как потенциальные. Существенно упрощается аппаратное оформление технологических переделов извлечения золота, уменьшается капиталоемкость производства, достигается мультипликативный эффект.

*Перечень опубликованных работ по теме за 2019 год:*

1. Перегудов В.В., Шаутонов М.Р., Бегалинов А. Carla – технология поиска месторождений золота по золоту. // XII Конгрессе обогатителей страны СНГ, г.Москва, НИТУ МИСиС, 25–27 февраля, 2019 года. – С.65-67.
2. Перегудов В.В., Шаутонов М.Р., Бегалинов А., Левин В.Л. Минералы – трассеры золотой минерализации в технологических продуктах. // XII Конгрессе обогатителей страны СНГ, г.Москва, НИТУ МИСиС, 25 – 27 февраля, 2019 года. – С.67-69.
3. Бегалинов А., Медеуов Ч.К., Шаутонов М.Р., Алменов Т.М. Перспективы эффективного использования реагентов на основе соединений серы в технологии извлечения золота из упорных видов сырья. // XII Конгрессе обогатителей страны СНГ, г.Москва, НИТУ МИСиС, 25–27 февраля, 2019 года. – С.332-334.
4. Шаутонов М.Р., С.Б. Заякина, Перегудов В.В., Бегалинов А. Исследование по переработке золошлаковых отходов с получением полезных компонентов. // Горный журнал Казахстана, 2019. – №10.
5. A. Begalinov, M. Shautenov, T. Almenov, B. Bektur, R. Zhanakova. Prospects for the effective use of reagents based on sulfur compounds in the technology of extracting gold from resistant types of gold ore. Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems. Volume 11. 08-Special Issue. Pages: 1791-1796 USA, October 2019.

***Проект 3. «Комплектация, оптимальное размещение и высокопроизводительное использование комплексов циклично-поточной технологии при доработке глубоких железорудных карьеров» – АР05133548*** (научный руководитель – д.т.н., проф. Молдабаев С.К.)

*Краткие выводы по результатам НИР:*

Впервые для карьерных полей округлой формы при комбинированном автомобильно-железнодорожном транспорте разработан алгоритм оптимизации по глубине зон эксплуатации сверху вниз железнодорожного транспорта, автомобильного транспорта на подъем с перегрузкой горной массы в железнодорожный транспорт, а также на спуск и подъем с перегрузкой горной массы на конвейерный подъемник. Его апробация выполнена для оставшихся в предельных контурах сверхглубокого Качарского карьера объемов горной массы (пород рыхлой и скальной вскрыши, руды). Она позволила установить, что наименьшие затраты обеспечит одновременное применение железнодорожного транспорта до глубины 149 м, комбинированных автомобильно-железнодорожного и автомобильно-конвейерного видов транспорта с вводом конвейерного подъемника на глубине 344 м. По сравнению с применением только автомобильного транспорта себестоимость транспортирования оставшегося объема горной массы можно снизить на 50,8% (меньше на 6,4 млрд. USD).

Разработана методика определения погоризонтных объемов выемки горной массы для возможных схем вскрытия глубоких горизонтов карьера с формированием на одном или двух участках борта проектного стационарного положения по предельному контуру. Установлен порядок проведения горно-строительных работ и мероприятий по сооружению перегрузочного пункта автомобильно-конвейерного транспорта. Выданы рекомендации по режиму горных работ на период строительства и монтажа комплексов циклично-поточной технологии на Качарском карьере.

Для схем вскрытия глубоких горизонтов карьера установлены графические зависимости объемов выемки горной массы от текущей глубины разработки.

На основании полученных корреляционных зависимостей границ эффективного применения крутонаклонных конвейеров подготовлено «ТЭО целесообразности перехода на транспортирование горной массы комбинированным автомобильно-конвейерно-железнодорожным видом транспорта и выбора типа автосамосвалов на Качарском карьере АО «ССГПО». При высоте подъема горной массы более 150 м крутонаклонные конвейера более эффективнее традиционных наклонных конвейеров. Установлено, что по энергосбережению эффективен сквозной фронт работ со сквозным проездом автосамосвалов при разгрузке в бункер по сравнению с традиционно применяемой при ЦПТ тупиковой их разгрузкой.

В соответствии с установленным порядком развития горных работ на Качарском карьере обоснованы оптимальные положения комплексов ЦПТ и транспортных коммуникаций с разделением грузопотоков руды и пород скальной вскрыши через две системы располагаемых один над другим крутонаклонных конвейеров КНК-180 с высотой подъема до 360 м. При этом перегрузка руды осуществляется на ранее приобретенные предприятием наклонные конвейера на южном борту восточнее ранее пройденной и законсервированной крутой траншеи, а породы скальной вскрыши на внутрикарьерный железнодорожный транспорт через два горизонта транспортных берм передовых уступов восточнее северо-западной капитальной траншеи внешнего заложения. Перенесение перегрузочных пунктов с рабочей зоны на стационарные борты карьера позволит интенсифицировать подвигание уступов по породам рыхлой вскрыши (толща мощностью 160 м) и реализовать более эффективную технологию отработки уступов по породам скальной вскрыши и руде поперечными панелями в крутонаклонных слоях. Перенос перегрузочных пунктов по породам скальной вскрыши на нижние горизонты запланирован после приведения уступов по породам рыхлой вскрыши в конечное проектное положение.

В рамках проекта заключен договор о совместном патентовании между НАО «КазНИТУ имени К.И. Сатпаева» и АО «ССГПО».

*Перечень опубликованных работ по теме за 2019 год:*

Монографии

1. Moldabayev S.K., Shustov O.O., Adamchuk A.A., Sarybaev N.O. Methods of increasing effective use of cyclic and continuous technology complexes on ore open pit mines (Пути высокопроизводительного использования комплексов циклично-поточной технологии). // Sustainable development of resource-saving technologies for mining and processing of minerals: multi-authored monograph. – University of Petroșani, Romania, 2019. – pp. 82-101.

Статьи

1. Молдабаев С.К., Абен Е., Касымбаев Е.А., Сарыбаев Н.О. Комплектация комплексов циклично-поточной технологии при комбинированном автомобильно-конвейерно-железнодорожном виде транспорта. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – М.: изд-во «Горная книга», 2019. – № 7. – С. 158-173. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-07-0-158-173 (Scopus). IF 0,19.

2. Kuzmenko S.V., Kaluzhnyi Ye.S., Moldabayev S.K., Shustov O.O., Adamchuk A.A., Toktarov A.A. Optimization of the position of the complexes of cyclic flow technology in the refinement of deep iron quarries (Оптимизация положения комплексов циклично-поточной технологии при доработке глубоких железорудных карьеров) // Mining of Mineral Deposits, 2019. Volume 13, Issue 3, pp. 104-112. <https://doi.org/10.33271/mining13.03.104> (Scopus & Web of Science).

3. Шустов А.А., Молдабаев С.К., Адамчук А.А. Определение объемов работ и сроков сдачи в эксплуатацию элементов комплексов циклично-поточной технологии // Сб. научных трудов. Национального горного университета, 2019. – № 58. – С. 144-153. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/58.144> (Scopus).

4. Moldabayev S., Sultanbekova Zh., Adamchuk A., Sarybaev N. Method of optimizing cyclic and continuous technology complexes location during finalization of mining deep ore open pit mines // 19 International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2019. – Albena, Bulgaria, 2019. – Volume 19. – pp. 407-414. ISSN 1314-2704. <https://doi.org/10.5593/sgem2019/1.3> (Scopus).

5. Serik Moldabayev, Bolatbek Rysbaiuly, Zhanat Sultanbekova, and Nurzhigit Sarybaev. Methodological approach to creation of the 3D model of an oval-shaped open pit mine // E3S Web of Conferences Volume 123 (2019) Ukrainian School of Mining Engineering 2019. – Berdiansk, Ukraine, 2019. – p. 13. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912301050> (Scopus). SJR 0,174 CiteScore 0,52 SNIP 0,575.

**Проект 4. Совершенствование управления технического и биологического этапов рекультивации нарушенных земель на открытых горных работах – AP05131591** (научный руководитель к.т.н., доц. Рысбеков К.)

*Краткие выводы по результатам НИР.*

Для обоснования пригодности нарушенных горными работами земель для конкретных экологических условий выбран Донской горно – обогатительный комбинат. На комбинате методом маршрутов и ключевых участков проведено почвенно – экологическое обследование

территорий земельного отвода и изучена растительность на объектах рекультивации, заложены экспериментальные участки для обоснования направления биологической рекультивации горизонтальной поверхности, откосов сформированных и отсыпаемых бульдозерных отвалов.

1. С целью ускорения рекультивации отсыпанной поверхности внешних отвалов вскрышных пород предлагается использовать нижеследующие рациональные способы интенсификации почвообразования на откосах и горизонтальных площадках отвалов при выполнении рекультивационных работ:

- обеспечение растений азотом и минеральными элементами способствует первичному почвообразовательному процессу на поверхности отвалов;
- создание временных лесных насаждений из быстрорастущих, почвообразующих и почвоулучшающих древесно – кустарниковых пород обеспечивает устойчивость лесных насаждений на рекультивируемых поверхностях отвалов;
- поэтапное внесение в новообразующуюся почву соответствующих бактерий, микроорганизмов и мицелия грибов;
- микориз образателей улучшает развитие формирующихся фитоценозов и ускоряет почвообразовательные процессы на отвалах.

2. Обоснованы эффективные способы технического и биологического этапов рекультивации горизонтальной поверхности сформированных внешних отвалов. Произведена эколого – геохимическая оценка загрязнения тяжелыми металлами территорий земельного отвода Донского горно-обогатительного комбината. Были заложены 3 почвенных разреза и прикопок по методике полевого исследования почв.

3. Разработаны рациональные способы технического и биологического этапов рекультивации откосов внешних сформированных отвалов. Получены результаты геоботанических исследований фитоценозов на техногенных ландшафтах открытых разработок. Выявленные специфические условия местообитания растений на объектах рекультивации позволяют рекомендовать для использования при горнотехнической и биологической рекультивации отвалов Донского ГОКа соле- и засухоустойчивых видов растений, районированных в данной зоне. Для рекультивации (фитомелиорации) откосов и горизонтальных поверхностей сформированных отвалов, рекомендуется использовать: *пырей бескорневищный (Agropyrum tenerum Vessey)*, *волоснец сибирский (пырейник) (Elymus sibiricus L.)*, *ячмень солончаковый, лисохвост солончаковый (Алопекурус), райграсеодно летний и высокий, пырей ползучий, бескильница расставленная, донник белый.*

4. Разработаны способы рекультивации выработанного пространства карьеров. Применение НЛС для определения объемов и площадей рекультивируемых объектов на открытых горных работах позволило оперативно и с высокой точностью определять объемы отвалов, подлежащие рекультивации.

Впервые предложена технологическая схема селективного формирования двухъярусного внешнего отвала. Использование выработанного пространства карьеров в качестве водосборников является эффективным способом восстановления земель, нарушенных горными работами. В этой связи восстановление отработанной площади открытой разработки и использование ее для рекреационных целей благоприятствует социально-экономическому развитию территории добычи месторождения.

*Перечень опубликованных работ по теме за 2019 год:*

1. Сандибеков М.Н., Рысбеков К.Б., Жакыпбек Ы., Абен А.С. Обоснование направления рекультивации нарушенных земель при кучном выщелачивании золотосодержащих руд месторождения Родниковое. // Маркшейдерия и недропользование. – 2019. – №2(100). – С.54-57.

2. Rysbekov K., Usen K., Akhtaeva N., Osmonali B., Nurmakhanova A., Mukanova G. Examination and current state of vegetation of technologically disturbed lands of SSGPO. Eurasian Journal of Ecology. – 2019. – №2 (59). – P.90-99.

3. K. Rysbekov, D. Huayang, T. Kalybekov, M. Sandybekov, K. Idrissov, Y. Zhakypbek, G. Bakhmagambetova. Application features of the surface laser scanning technology when solving the main tasks of surveying support for reclamation. Mining of mineral deposits. – 2019, – №13(3). – P.40-48.

4. Калыбеков Т., Рысбеков К.Б., Сандибек М.Н., Куюков Е. Изучение обоснования рационального способа рекультивации внешних отвалов. // Труды научно-технического обеспечения горного производства. – 2019. – Т. 89. – С.155-164.

5. Kalybekov, T., Sandibekov, M., Rysbekov, K., & Zhakupbek, Y. (2019). Substantiation of ways to reclaim the space of the previously mined-out quarries for the recreational purposes. E3S Web of Conferences, (123), 01004.

**Проект 5. «Исследование и разработка техники и технологии откачки продуктивных растворов при подземном скважинном выщелачивании с помощью комбинированных струйных насосных установок» – АР05131363** (научный руководитель к т.н., проф. Б.А. Мырзахметов).

*Краткие выводы по результатам НИР:*

- были проведены работы по расчетному моделированию для создания стендового варианта струйного аппарата, стыкуемого с электроцентробежным. На основании результатов моделирования определены основные конструктивные размеры элементов СН и области бескавитационной работы;
- для создания действующей модели струйного насоса было разработано Техническое задание на его проектирование и изготовление, по результатам которой было обоснована общая компоновка и разработаны рабочие чертежи основных деталей. В соответствии с требованиями ТЗ были изготовлены детали с доводкой размеров и полировкой их рабочих поверхностей, после чего осуществлена общая сборка и состыковка узлов;
- для проверки качества изготовления и сборки проведены гидравлические испытания путем опрессовки под полуторакратным избыточным давлением, подтвердившие герметичность соединений, и его готовность к стендовым испытаниям;
- разработаны технические требования и ТЗ на проектирование и изготовление испытательного стенда для испытаний КНУ с имитацией скважинных условий;
- изготовлены элементы испытательного стенда и произведена их общая сборка с приборами контроля параметров;
- для управления режимами работы КНУ спроектирована и изготовлена интеллектуальная станция управления электроцентробежным и подпитывающим насосами с частотным регулятором компании ABB с программным обеспечением SCADA-пакет «Испытательный стенд» (super visory control and data acquisition, диспетчерское управление и сбор данных), которая является платформой, позволяющей обеспечить работу системы сбора, обработки, отображения и архивирования информации в процессе стендовых испытаний комбинированной насосной установки;
- произведена тарировка и отладка элементов КИП и режимов работы КНУ со станции управления и контроля, подтвердившая работоспособность и готовность испытательного комплекса к проведению стендовых испытаний в 2020 г.

*Перечень опубликованных работ по теме за 2019 год:*

1. Мырзахметов Б.А., Султабаев А.Е., Токтамисова С.М., Майкенов Е.Б. Моделирование скважинной тандемной насосной установки для откачки урана при подземном скважинном выщелачивании. // Сборник трудов Международной научно-практической конференции «Рациональное использование минерального и техногенного сырья в условиях индустрии 4.0». – 14-15 марта 2019г. – Том 1. – С. 421-426.

2. Мырзахметов Б.А., Сладковский А.В., Токтамисова С.М. Испытательный стенд для проведения экспериментальных исследований комбинированной насосной установки. // Горный журнал Казахстана. – 2019. – №4. – С. 21-23.

3. Мырзахметов Б.А., Крупник Л.А., Султабаев А.Е., Токтамисова С.М. Математическая модель работы струйного насоса в составе скважинной тандемной установки. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – №8. – С. 123-135.

4. Заявка №2019/0383.1 на патент РК «Струйный насос». Мырзахметов Б.А., Бейсенов Б.С., Сарыбаев Е.Е., Токтамисова С.М. Приоритет от 27 мая 2019г.



**Проект 6. «Разработка системы прогноза и методов геомониторинга за смещениями горного массива на опасных участках земной поверхности при освоении недр на основе инновационных методов ГИС-технологии»** (научный руководитель – д. т. н., проф. Байгурин Ж.Д.)

*Краткие выводы по результатам НИР:*

1. Выполнено когерентный анализ тандемных пар космической съемки для на тестовых месторождениях для получения топографической основы в цифровом виде.
2. Создана цифровая карта смещений горного массива земной поверхности на основе результатов КРИ по тестовым месторождениям.
3. Предложен метод зонирования поверхности месторождения по степени ослабленности с учетом энергетического критерия разности потенциальной энергии между состояниями неустойчивого и устойчивого равновесия элемента горного массива.
4. Разработан метод зонирования с учетом коэффициента подуровней для детализации и верификации точности повышения районирования по энергетическому критерию на 15-20% относительно традиционных методов.
5. Создана опорно-геодезические сети для топографо-геодезических измерений смещений земной поверхности на ослабленных участках месторождения.

*Перечень опубликованных работ по теме за 2019 год:*

1. Садыков Б.Б., Кожаев Ж.Т., Байгурин Ж.Д., Нукарбекова Ж.М. Теоретический подход к определению объемов опозневых смещений. // Сборник трудов Международной научно-практической конференции «Рациональное использование минерального и техногенного сырья в условиях Индустрии 4.0». – Издательство: Satbayevuniversity.
2. Имансакипова Б.Б., Чернов А.В., Кидирбаев Б.И., Какимжанов Е.Х. Повышение эффективности мониторинга земной поверхности на территории Анненского месторождения с использованием космической радарной интерферометрии (КРИ). // Маркшейдерия и недропользование. – Издательство: ООО «Геомар Недра».
3. Алтаева А.А., Садыков Б.Б., Таукебаев О.Ж., Шакиева Г.С. Методика оптимизации геодезических наблюдений за земной поверхностью рудного месторождения на основе ее зонирования по степени ослабленности. Сборник трудов международной научно-практической конференции «Рациональное использование минерального и техногенного сырья в условиях Индустрии 4.0». – Издательство: Satbayevuniversity.
4. Кожаев Ж.Т., Садыков Б.Б., Спицын А.А., Шакиева Г.С. Влияние боковой рефракции на точность геодезических измерений в условиях жаркого климата. // Маркшейдерия и недропользование. – Издательство: ООО «Геомар Недра».
5. Байгурин Ж.Д., Спицын А.А., Имансакипова Б.Б., Кожаев Ж.Т., Имансакипова Н.Б. Патент на изобретение №33566 «Способ разработки полезных ископаемых в ослабленных зонах месторождений».

**Проект 6. «Основные хроностратиграфические рубежи нижнего карбона в разрезах Западного Казахстана (Актюбинская область): возможности установления международных стандартов»** (научный руководитель – ассоциированный профессор-исследователь Мустапаева С.Н.)

*Краткие выводы по результатам НИР:*

- Для вскрытия коренных пород, были проведены горные выработки разреза Бершогыр, было вырыто три канавы длиной 10 м, шириной 2 м.
- Канавы были очищены. Было выделено 15 слоев, из которых были отобраны пробы на микрофауну конодонтов и фораминиферы. Впервые послойно отобраны пробы на конодонты. Отобраны пробы на макрофауну брахиоподов, стебельки криноидей, одиночных кораллов, аммоноидей.
- Отобранные пробы по необходимости растворяются, будут сделаны шлифы и в данный момент проводятся лабораторные исследования. Отобраны образцы по фораминиферам из канавы БК – 1 / 10шт, БК – 2 / 3 шт, БК – 3 / 3 шт. Сделано 30 шлифов. Впервые отобраны послойные образцы на конодонты (с 15 уровней) из новых канав с целью сопоставления аммоноидной и конодонтовой шкал.

• В конгрессе Карбона и Перми в г. Кельн, была представлена геология пограничных отложений границы Девона и карбона разреза Бершогыр.

Работы по данному проекту ведутся в соответствии с мандатом Международной Подкомиссии по стратиграфии карбона.

*Перечень опубликованных работ по теме за 2019 год:*

1. Nikolaeva, S.V., Kulagina, E., Mustapaeva, S., Alekseev, A., Gatovsky, Y. The Devonian-Carboniferous Boundary sections in the Berchogur Depression (Mugodzhary Mountains, Western Kazakhstan) *Kölner Forum Geol. Paläont.*, 23 (2019). 19th International Congress on the Carboniferous and Permian, Cologne, July 29–August 2, 2019, pp. 242-243.

2. Николаева С.В., Алексеев А.С., Кулагина и др. Межрегиональная корреляция основания серпуховского яруса: проблемы и перспективы. // Сборник тезисов Международной стратиграфической конференции Головкинского, 2019 «Осадочные планетарные системы позднего палеозоя: стратиграфия, геохронология, углеводородные ресурсы». – Казань 2019г. – С. 183-188.

### **2.30. ФИЛИАЛ РГП «НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР ПО КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКЕ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН» «ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА ИМ. Д. А. КУНАЕВА»**

В 2019 году в Институте горного дела им. Д. А. Кунаева (далее – Институт) выполнялись прикладные исследования по следующим программам и проектам:

*по заданию Комитета науки МОН РК в рамках бюджетной программы 217 «Развитие науки» подпрограмма 102 «Грантовое финансирование научных исследований на 2018-2020 годы»:*

*Выполнялось 4 проекта по приоритетным направлениям:*

**по приоритету: Рациональное использование природных ресурсов, переработка сырья и продукции**

**по подприоритету: Геология и разработка месторождений полезных ископаемых**

1. Создание устройств и технологии поточной отбойки горных пород гиперзвуковыми выбросами гидрозарядов. (Руководитель: академик НАН РК Буктуков Н.С.).

*Основные результаты:*

Разработаны: общая конструкция гидроимпульсной пушки с мощностью выстрела от 70 до 250 кДж, конструкторская документация на устройство электроразрядного привода и средств его камерного уплотнения и электроизоляции в сверхкислой среде с температурой до 900<sup>0</sup> С и рабочим давлением 2000 атм.; конструкция торцевого электроразрядного привода и торцевого автономного теплового привода; электрический привод с боковым вводом электропитания относительно полости гидропушки и другие вспомогательные объекты установки. В перспективе графитовый привод способен развивать мощность до 200 кДж.

2. Проектирование автоматизированной системы позиционирования и связи для мониторинга горнотранспортных процессов и принятия оперативных управленческих решений при открыто-подземных способах разработки месторождений полезных ископаемых. (Руководитель: член-корр. НАН РК Галиев С.Ж.).

*Основные результаты:*

Обоснован выбор подходящего к применению программно-технического оснащения. Интегрированы программно-технические средства в единый комплекс для условий применения при открыто-подземной добыче. Сформирован парсер с учетом основных требований, предъявляемым к протоколам системы управления датчиками. Выполнена сборка опытного образца программно-технического обеспечения, использование которого в тестовом режиме позволило отследить скорость и направление перемещения объекта в пространстве, что позволяет построить трекинг.

**по подприоритету: Информационные системы и базы данных**

3. Разработка программно-технического комплекса системы высокоточного спутникового позиционирования для месторождения АО «ССГПО». (Руководитель: Балтиева А.А.).

*Основные результаты:*

Разработана документация на опорную геодезическую сеть (ОГС) Качарского месторождения, рабочая конструкторская документация на конструкцию геодезического пункта и базовую станцию дифференциальной коррекции. Разработано программно-математическое обеспечение (ПМО) по обработке данных спутниковых измерений на геодезическом пункте месторождения. Выполнено описание разработанного ПМО, разработано руководство оператора ПМО по обработке данных спутниковых измерений.

**по подприоритету: Прикладные исследования в области естественных наук**

4. Разработка методической инструкции по определению нормативных показателей потерь и разубоживания руды с рыночной оценкой добычи для проектирования и эксплуатации месторождений Казахстана открытым, подземным и комбинированным способами. (Руководитель: канд. техн. наук Джангулова Г.К.).

*Основные результаты:*

Изучены горнотехнические условия и системы разработки на месторождении «Миллионное» в условиях этажей -480м/-640м., предложена комбинированная геотехнология и методика обоснованного выбора системы разработки на месторождении ДонГоК. На основе анализа предложена геотехнология искусственного днища (ИД) на горизонте выпуска с послойным созданием технологических процессов в районе междуштрековых и надштрековых целиков. Разработана методология по обоснованию прочности ИД с многоопорной железобетонной платформой с расчетами оценки прочности ИД с многоопорной удлиненной прямоугольной железобетонной платформенной опорой.

*в рамках бюджетной программы 217 «Развитие науки» подпрограмма 101 «Программно-целевое финансирование субъектов научной и/или научно-технической деятельности на 2018-2020 годы» по теме «Технологическая модернизация горных производств на основе перехода к цифровой экономике».* (Руководитель – член-корр. НАН РК Шамганова Л.С.).

Список проектов ПЦФ 2018-2020 гг.:

1. «Разработка и апробация научно-методического обеспечения проблемно-ориентированной автоматизированной системы управления процессами недропользования, обеспечивающей баланс интересов государства, бизнеса и общества». (Руководитель: д-р техн. наук, профессор Лисенков А.А.).

2. «Разработка научно-методического обеспечения системы менеджмента технологических процессов на карьерах». (Руководитель: канд. техн. наук Адилханова Ж.А.).

3. «Научно-методические основы создания автоматизированной системы позиционирования персонала и подвижной техники, оповещения персонала и поиска людей под завалами на горнодобывающем предприятии». (Руководители: Махонин В.Е., Чулков Д.О.).

4. «Разработка эффективных и безопасных технологий добычи полезных ископаемых для расширения минерально-сырьевой базы предприятий». (Руководитель: канд. техн. наук Волков А.П.).

5. «Разработать технологию и горное оборудование для безвзрывной добычи твердых полезных ископаемых». (Руководитель: д-р техн. наук Едыгенов Е.К.).

6. «Разработка высокоэффективных и малозатратных технологий переработки шлаков медных руд на основе использования возобновляемой энергии атмосферного электричества и золошлаковых отходов». (Руководители: д-р техн. наук Метакса Г.П., канд. техн. наук Когут А.В.).

Соисполнители:

7. ТОО «НИПИ «Казтехпроект»: «Развитие методологии проектирования горных работ с учетом цифровизации процессов». (Руководитель: член-корр. НАН РК Галиев С.Ж.).

*Основные результаты:*

1. Разработаны система принципов и научные положения сбалансированного управления процессами недропользования в условиях перехода к цифровой экономике, подсистемы информационно-аналитического и экономико-математического обеспечения решения этих задач в рамках создаваемого программно-функционального комплекса. Наиболее подготовленными к цифровизации признаны задачи дифференцированной и интегрированной оценки запасов полезных ископаемых в недрах на внутрирудничном, рудничном и межрудничном уровнях, нормирования запасов полезных ископаемых по степени технологической готовности к добыче

при открытой и подземной разработке месторождений полезных ископаемых, объемно-календарного планирования горных и горнотранспортных работ в карьерах/шахтах. Разработано научно-методическое, информационно-аналитическое, алгоритмическое и программное обеспечение решения этих задач.

Сформулированы принципы и разработано методическое обеспечение календарного планирования технологических процессов с учетом гибкого нормирования технологических показателей, позволяющее осуществлять планирование на основе достоверных норм выработки каждой единицы оборудования, обеспечивающих адекватный учет фактического технического состояния горнотранспортного оборудования и условий его эксплуатации. Разработана методика экономической оценки эффективности календарного планирования технологических процессов с учетом гибкого нормирования.

2. Проведён анализ расчетов по существующим проектам освоения месторождений полезных ископаемых, выполненных НИПИ «Казтехпроект». Учет организационных моментов на уровне операций проектируемых процессов, а также детализация в учете качественного состояния элементов и подсистем горнотранспортного комплекса в существенной мере обеспечивает повышение эффективности проектирования горно-транспортных работ, что в процессе реализации проектов приведет к снижению их себестоимости до 15-20% и, как следствие к повышению рентабельности освоения месторождений, конкурентоспособности горнодобывающих предприятий. Одним из основных результатов, полученных на данном этапе исследований, является разработка «Инструкции проектирования горнотранспортных работ с применением современных информационных технологий».

3 По результатам проведенных исследований принято решение реализовать передачу данных по протоколу TCP/IP. Выбран частотный диапазон (2,4 ГГц.) электромагнитного излучения для обеспечения функционирования автоматизированной системы позиционирования с учетом использования готовых существующих устройств и решений. Выбран частотный диапазон электромагнитного излучения для системы поиска людей под завалами (3, 6 и 10 кГц). Разработаны методика, аппаратное обеспечение и макетные образцы оборудования для проведения натуральных измерений распространения электромагнитного излучения по горным выработкам и сквозь толщу горных пород. Проведены натурные измерения прохождения электромагнитного излучения в условиях действующей шахты при различных сечениях горных выработок. Получены акты проведенных испытаний.

4. Выполнены расчеты и обоснованы параметры технологических схем и процессов добычи бедных руд в крутопадающих и наклонных залежах малой и средней мощности. Определены рекомендуемые размеры блоков по восстанию и сеток расположения столбчатых целиков при наличии устойчивых и не устойчивых вмещающих пород. Разработана математическая модель образования и движения искусственных селевых потоков, используемых для доставки отбитой руды и обоснована методика моделирования искусственных селевых водо-каменных потоков на физической модели, обеспечивающая геометрическое подобие натурального и модельного потоков. Получен ряд характеристик зарождения и движения шахтных селевых потоков, исследуемых с целью определения параметров технологических схем отработки наклонных залежей с селеставкой руды. Определены зависимости удельного расхода воды от угла наклона камеры и длины селеставки. Разработана компьютерная программа для автоматизированных расчетов параметров целиков в предлагаемых технологиях.

5. Разработан электромагнитный молот (ЭММ) с новой компоновкой электромагнитных двигателей, что позволило снизить расход медного провода и конструкционной стали за счет снижения габаритов. Разработан технический проект горного оборудования для безвзрывного разрушения пород, где в качестве рабочего органа проходческого комбайна применен электромагнитный ударный узел. Разработано устройство, способное осуществлять позиционирование и наведение инструмента на объект разрушения при помощи камер наблюдения, информация от которых поступает на дисплей к оператору базовой машины. Разработаны технические проекты на усовершенствованный ЭММ и рабочий орган проходческого комбайна с электромагнитным ударным узлом. Разработана система обеспечения точного наведения ударной машины на объект разрушения и снабжено ультразвуковыми датчиками для определения структуры негабарита.

6. Обоснованы составы смесей с использованием золошлаковых отходов ТЭЦ АО «ССГПО» для получения вяжущих: самостоятельно твердеющих, цементнозолошлаковых и битумозолошлаковых. Выбраны компоненты вяжущих смесей для формирования нижнего и верхнего слоев дорожных оснований (золошлаки, цемент, битум и щебень) и исследованы их физико-химических свойства. Разработан алгоритм управления технологическими процессами производства этих материалов. Исследованы процессы гидратации исходного цемента и системы «цемент – зола – вода» (состав цементно-золяного вяжущего, %: 70:30). На основе оценки воздействия золошлаковых отходов на компоненты окружающей среды определены состав и содержание базы экологических данных для контроля и прогноза загрязнения окружающей среды в зоне их влияния.

7. Изготовлен экспериментальный модуль для моделирования процессов выщелачивания и проведения на нем экспериментальных работ. Выбран оптимальный способ получения активированной воды для выщелачивания меди из ТМО; получены экспериментальные данные по выщелачиванию меди с различными катализаторами. По результатам выполненных экспериментов разработаны методики по определению степени активации флюида для выщелачивания отходов медеплавильного производства. Разработан алгоритм и компьютерная программа управления параметрами кучного выщелачивания по разработанному способу.

Проект по договору с АО «Национальное агентство по технологическому развитию», выполненный Институтом в 2019 году:

- по приоритету: *«Прогрессивные технологии поиска, добычи, транспортировки и переработки минерального и углеводородного сырья»*: по договору №211 от 14.10.2016 года: «Создать конкурентоспособный образец электромагнитного молота для безвзрывной технологии добычи твердых полезных ископаемых» (Руководитель: д.т.н. Едыгенов Е.К.).

*Основные результаты:*

В январе-марте 2019 г. были проанализированы результаты стендовых и полигонных испытаний электромагнитного молота, исследованы режимы работы молота, установлены зависимости энергии удара от тока и осуществлено разрушение горных пород. В целом, испытания показали работоспособность и возможность применения электромагнитного молота в качестве навесного оборудования для разрушения и скалывания крепких горных пород. Составлен окончательный отчет НИР и финансовый отчет по результатам выполнения гранта, который успешно прошел экспертизу в АО «НАТР».

Проекты по договору с РОО «Национальная академия наук Республики Казахстан», выполненные Институтом в 2019 году по программе 217 «Развитие науки», подпрограмме 101 «Программно-целевое финансирование субъектов научной и/или научно-технической деятельности на 2018-2020 годы» по научно-технической программе BR05236263 «Создание основ серийного производства казахстанских источников возобновляемой энергии мирового уровня»:

1. «Разработка солнечных батарей с повышенным коэффициентом полезного действия порядка 45% по патенту РК № РК №31796 (вариант 7) (2016 г.) и/или по патенту РК №2320 (2017 г.)». (Руководитель: академик НАН РК Буктуков Н.С.)

*Основные результаты:*

Произведена сборка экспериментальной солнечной батареи, проведены экспериментальные исследования ее работы, которые позволили на практике установить высокий коэффициент преобразования солнечной энергии в электрическую.

2. «Разработка, изготовление и испытание ветроэлектростанции (ВЭС) по патенту РК №31790 (2016 г.) выходной мощностью 5 кВт, работающей на ветрах резко континентального климата со скоростью до 50 м/с и с повышенными коэффициентами полезного действия, использования мощности и использования во времени». (Руководитель: Буктуков Б.Ж.)

*Основные результаты:*

Разработана и изготовлена ветроэлектростанция по патенту РК №31790 (2016 г.). Смонтирована ВЭС в ветровом коридоре, устранены выявленные нестыковки в конструкторской документации. Экспериментальные исследования показали, что ВЭС может работать при скорости ветра до 50 м/с за счет того, что парусные лопасти смыкаются, уменьшая площадь ометаемой поверхности, а аэродинамические лопасти переходят к режиму торможения. Необходимо увеличить прочность аэродинамических лопастей и устойчивость верхнего подшипникового узла.

### Практическая деятельность

В рамках 7 хозяйственных работ Институт в 2019 году выполнил работы на сумму 327 347 тыс. тенге для 5 горнодобывающих предприятий Казахстана: АО «ССГПО», ТОО «Восход-Oriel», автономный кластерный фонд «Парк инновационных технологий», ТОО «ЭКО-СЕРВИС-С», АО «AltynEx Company».

### Патентно-лицензионная деятельность

С целью патентно-правовой защиты выполняемых разработок в 2019 году подано 4 заявки, в том числе: о выдаче патентов РК на изобретение – 2; о выдаче патента РК на полезную модель – 2.

С целью коммерческой реализации объектов промышленной собственности осуществлялось поддержание действия 1 охранного документа РК.

В отчетном году получено 2 отечественных и 1 зарубежное заключение о выдаче охранных документов на объекты промышленной собственности, опубликовано 3 охранных документа, в том числе патент РК на полезную модель – 2, зарубежных – 1.

### Издательская деятельность

За 2019 год опубликовано всего **75 публикаций**, в том числе:

– **2 монографии**;

– **29 научных статей**, из них:

1) в рецензируемых научных журналах, входящих в 1-3 квартиль по данным JCR of CA или имеющих в БД Scopus процентиль не менее 35 – 3;

2) в научных журналах, индексируемых РИНЦ и другими международными базами с ненулевым импакт-фактором – 16;

3) в изданиях, рекомендованных ККСОН – 10;

– **30 научных докладов** международного уровня;

– **14 научных докладов** регионального уровня с привлечением зарубежных ученых.

### Организация, проведение, участие в работе конференций

В 2019 году сотрудниками Института горного дела им. Д.А. Кунаева были организованы и проведены следующие мероприятия:

1. **Круглый стол «Цифровая модернизация горно-металлургических комплексов на основе казахстанских разработок»**, посвященного 25-летию Национального центра по комплексной переработке минерального сырья Республики Казахстан (12 июня 2019 г. в г. Нур-Султан в рамках Международного горно-металлургического конгресса АММ-2019). Выступило 8 докладчиков, приняли участие более 70 человек – представители науки, образования и горнодобывающих предприятий.

Обсудив доклады и обменявшись мнениями по проблемам и перспективам цифровой модернизации горно-металлургических комплексов, по результатам работы Круглого стола было принято решение, которое передано в Министерство индустрии и инфраструктурного развития.



**Участники Круглого стола «Цифровая модернизация горно-металлургических комплексов на основе казахстанских разработок»**



2. Круглый стол «Геомеханическое обоснование – основа эффективной и безопасной отработки месторождений полезных ископаемых», посвященный 95-летию профессора, доктора технических наук Ю.И. Чабдаровой (13 сентября 2019 г., г. Алматы). Было заслушано 33 доклада, приняли участие более 60 человек – представители науки, образования и горнодобывающих предприятий Казахстана, России, Беларуси, Кыргызстана.

3. Семинар на тему «Инновационные разработки РГП «НЦ КПМС РК» для устойчивого развития горно-металлургической отрасли Республики Казахстан» в рамках 25-й Центрально-Азиатской международной выставки «Горное оборудование, добыча и обогащение руд и минералов» (18 сентября 2019 г., г. Алматы). Директор Института, академик НАН РК Буктуков Н.С. ознакомил слушателей с инновационными разработками РГП «НЦ КПМС РК», обеспечивающими устойчивое развитие горно-металлургической отрасли Республики Казахстан. В работе семинара приняло участие более 20 человек.

### **Образовательная деятельность**

В 2019 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.

В марте 2019 года прошли научно-исследовательскую стажировку студенты 2-го курса Баишев Университета Нургазы Е.А., Битлеу А., Райымбеков Н., Куйшибаев Р.

В октябре 2019 г. подписан договор о сотрудничестве в сфере высшего образования и науки с Карагандинским государственным техническим университетом. В рамках данного договора в период с 5 по 20 октября 2019 г. 12 студентов КарГТУ им. Букетова прошли научную стажировку.

В октябре 2019 г. подписан договор о сотрудничестве в сфере высшего образования и науки с Казахской академией транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева, в рамках которого с 1 ноября по 28 декабря 2019 г. прошли исследовательскую практику докторанты второго года обучения специальности 6D070200 – «Автоматизация и управление» Джулаева Ж.Т., Калабаева А.Е.

В 2019 году в магистратуре обучались 3 сотрудника Института, в PhD-докторантуре обучались 4 сотрудника по специальностям «Горное дело», «Геодезия» и «Вычислительная техника и программное обеспечение». 1 молодой ученый Института защитил *PhD-докторскую диссертацию* по специальности «Горное дело».

## **2.31. ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ КАЗАХСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ИМ. К.И.САТПАЕВА**

*Тема: «Разработка бесцианидной технологии извлечения золота из труднообогатимого природного и техногенного минерального сырья».*

Научный руководитель проекта: д.т.н., проф. КазНИТУ имени К.И.Сатпаева А. Бегалинов.

**Задачи на 2019 год:** «Исследования фазовых превращений золотосодержащих сульфидных руд и продуктов обогащения в процессе их супертонкого измельчения (20, 10 мкм). Исследования по тиосульфатному выщелачиванию руд и концентратов после супертонкого измельчения в различных реагентных режимах».

*Объект исследования:* труднообогатимая «упорная» золотосодержащая руда и продукты их обогащения. Флотационные концентраты руд месторождения Пустынное и Кварцитовые горки.

*Цель работы:* установление фазовых превращений золотосодержащих сульфидных руд и концентратов в процессе их супертонкого измельчения. Подбор режима по тиосульфатному выщелачиванию супертонко измельченных сульфидных руд и их концентратов.

*Методология проведения работы:* химический, физический, минералогический, фракционный, ситовой, седиментационный, пробирный и другие методы анализа; гравитационные, флотационные методы обогащения, тиосульфатное выщелачивание, механоактивационное измельчения и механохимическое активирование.

Для проведения исследования применены: виброизмельчитель, весы аналитические, сита класса +74 мкм, +40 мкм, +20 мкм, +10 мкм, лабораторная мельница, истиратель проб, Ph метр, центробежный чашечный аппарат.

*Краткие выводы по результатам НИР.* На основании проведенных исследований согласно календарного плана работ на 2019 год можно сделать следующие выводы:

Проведен анализ по механохимии минералов при механической активации.

Проведены исследования по супертонкому измельчению золотосодержащих сульфидных руд. Механоактивационное измельчение проведено с целью вскрытия тонкодисперсного золота.

Исследованиями по повышению извлечения золота флотацией на основе более тонкого измельчения руды установлено, что с увеличением тонины помола руды снижается содержание золота в хвостах флотации до 0,7 г/т. Максимальное извлечение золота в концентрат составило 84,59 %.

Сорбционное цианирование механоактивированной смеси флотационных концентратов, также приводит к снижению содержания золота в хвостах цианирования.

Необходимая продолжительность механоактивации составила 9-12 мин. после которой содержание класса менее 10 мкм в активированном материале составила 93,94 % по классу менее 40 мкм. Хвосты сорбции получены с содержанием золота 0,31 г/т, извлечение золота в раствор от операции составило 85,65 %.

Исследования по механохимической активации сульфидного золотосодержащего сырья показали более высокую эффективность этого метода при условии проведения этой операции, во-первых, в щелочной среде, а также в присутствии кислорода воздуха и ионов меди, во-вторых, при использовании в последующей операции выщелачивания измельченного продукта сульфит-тиосульфатного реагента. Такой метод переработки сульфидного сырья может обеспечить высокие показатели извлечения золота в раствор на обоих переделах и позволяет трансформировать в тиосульфатное соединение и использовать в качестве реагента значительную часть собственной сульфидной серы в сырье.

Работа будет продолжена в направлении уточнения и оптимизации параметров процессов на обоих переделах разрабатываемой технологии. В первую очередь следует установить оптимальное время выщелачивания измельченного сульфидного продукта. Кроме этого планируются более глубокие исследования по поиску методов улучшения показателей извлечения золота путем дополнительного повышения в этих процессах окислительного потенциала среды, как за счет использования реагентов, так и за счет электрохимического воздействия.

*Оценка полноты решения поставленных задач.* Результаты исследований, полученные в ходе реализации проекта, станут одним из значимых в решении проблемы извлечения золота из упорного труднообогатимого минерального золотосодержащего сырья. Предлагаемая технология переработки сырья, по сравнению с используемой в настоящее время цианидной технологией, является экологически безопасной и экономически эффективной. Применяя на практике разработанные технологии можно вовлечь в отработку запасов золотосодержащего сырья, которые в настоящее время не рассматриваются даже как потенциальные. Существенно упрощается аппаратное оформление технологических переделов извлечения золота, уменьшается капиталоемкость производства, достигается мультипликативный эффект.

*Рекомендации и исходные данные по конкретному использованию результатов НИР.* По завершению выполняемой НИР и полученным результатам ожидается внедрения в производственный и учебный процесс.

*Оценка технико-экономической эффективности внедрения.* Использование данной технологии переработки золотосодержащего сырья позволит решить ряд задач: комплексно использовать минеральное сырье – вовлечь в переработку труднообогатимые золотосодержащие руды; повысить извлечение золота за счет мелкого и тонкого золота и оздоровить экологическую обстановку промышленной зоны. Получены высокие показатели извлечения золота (92-98%) в раствор при тиосульфатном выщелачивании супертонко измельченного, методом механохимического активирования концентрата, в сравнении с цианидным редокс-процессом.

*Оценка научно-технического уровня выполненной НИР в сравнении с лучшими достижениями в данной области.* Данная разработка проведена на современном научно-техническом уровне с использованием современного аналитического и исследовательского оборудования,

на основе последних достижений в области теории и практики по переработке упорных видов золотосодержащего сырья. Получены высокие показатели извлечения золота (92-98%) в раствор при тиосульфатном выщелачивании супертонко измельченного, методом механохимического активирования концентрата, в сравнении с цианиднымредокс-процессом.

## **2.32. КАРАГАНДИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

### ***Кафедра «Разработка месторождений полезных ископаемых»***

#### **Инициативная НИР «Разработка контурных технологий крепления горных выработок» (научный руководитель: проф., д.т.н. Демин В.Ф.)**

Разработка угольных месторождений подземным способом показывает, что обеспечение снижения дефектности контуров горных выработок является важной горнотехнической задачей производственной деятельности.

В угледобывающей промышленности важнейшее место занимают процессы крепления и поддержания капитальных и подготовительных горных выработок.

Одной из основных задач повышения технико-экономических показателей в горной промышленности является более эффективное использование существующих крепей и научное обоснование их оптимальных конструктивных параметров.

При выборе крепи учитывают размеры пролета выработки и степень трещиноватости и устойчивости пород. Анкеры скрепляют слои пород, расположенных вокруг выработки, не дают им расслаиваться и обрушаться.

Технология отработки угольных пластов без оставления целиков угля применяется на шахтах по двум основным причинам: переход на охрану выработок угольными целиками привел бы к дополнительным подземным пожарам, взрывам, проблемам надрботки и подработки угольных пластов в свитах и др.; существующие способы крепления и специальные мероприятия не обеспечивают охрану выработок при бесцеликовой технологии.

Разработка и внедрение технологии, систем и средств активного крепления горных выработок с учетом напряженно-деформированного состояния (НДС) массива приконтурных пород является актуальной задачей в области горных работ в различных горнотехнических условиях эксплуатации отработки угольных пластов.

Производство горных работ сопровождается нарушением начального напряженного состояния породных массивов. Горные работы всегда связаны с образованием неустойчивых зон в породном массиве или горных выработок. Окружающие выработку горные породы перемещаются в сторону контура выработки, причем величина этих перемещений тем больше, чем ближе горные породы расположены к породному обнажению, т.е. вмещающий горную выработку породный массив деформируется. Деформации растяжения в направлении выработки (в радиальном направлении) сопровождаются деформациями сжатия во взаимно перпендикулярных направлениях (в поперечном и продольном направлениях), которые обычно совпадают с направлениями очертания контура выработки. Возникающие вокруг выработки деформации растяжения и сжатия горных пород определяют появление соответствующих по знаку и величине дополнительных напряжений, которые нарушают начальное напряженное состояние породных массивов.

Вокруг горных выработок формируется новое НДС, которое наиболее существенно отличается от начального вблизи контура выработок и практически не отличается вдали от контура. Другой характерной чертой нового НДС вокруг выработок обычно является относительное увеличение или концентрация нормальных напряжений и относительное уменьшение или деконцентрация «радиальных» нормальных напряжений. Концентрация напряжений формирует области опорного давления, а деконцентрация – области разгрузки в породном массиве.

Стадии НДС включают: упругую стадию – до 35% от упругопластической стадии, соответственно – до 75% от разрушающей нагрузки и стадию разрушения – при лавинообразном появлении трещин, с разрушением приконтурного массива при превышении предела прочности пород на сжатие или растяжение.

Для анализа геомеханических процессов используется математическое моделирование.

Решение задачи определения НДС горной выработки при проведении ее в области ослабленного или нарушенного горного массива включает определение напряжений (нормальных, продольных и касательных), реакций и внутренних усилий, перемещений и деформаций.

Проведено исследование параметров технологической схемы пересечения тектонического нарушения забоем подготовительной горной выработки.

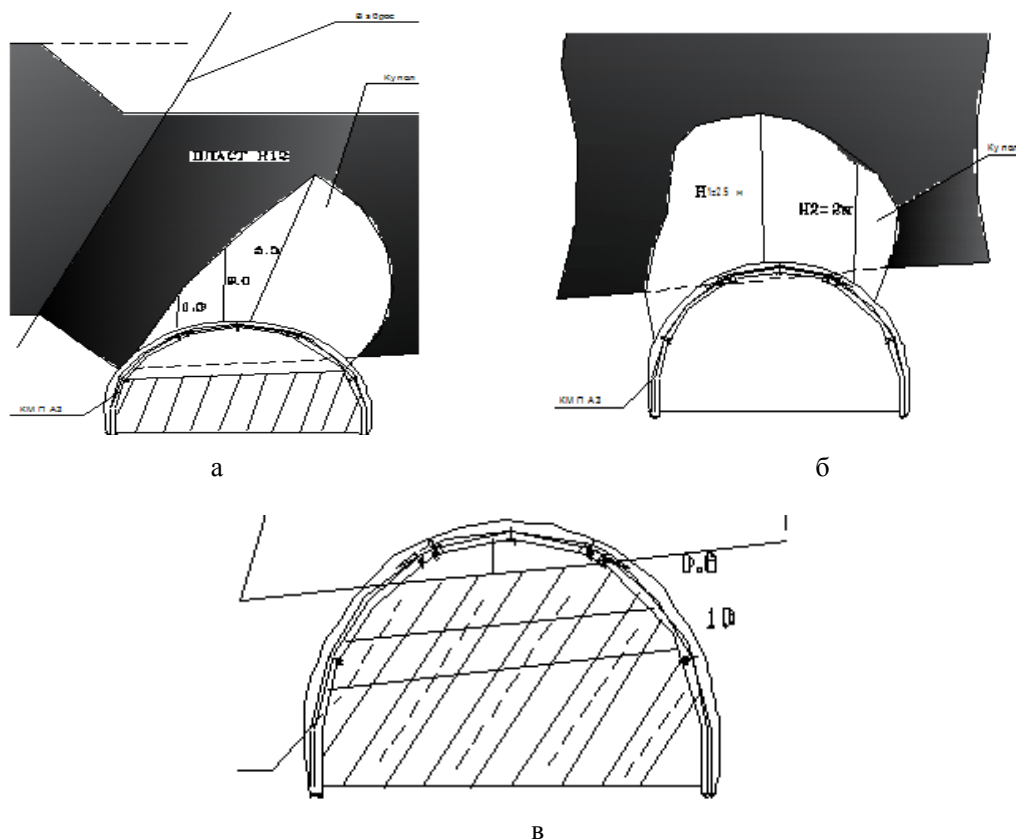
При этом в геомеханическую модель заложены геометрические размеры и форма горной выработки, физические характеристики вмещающего горного массива (прочность на одноосное сжатие) и параметры анкерного опережающего крепления.

Для шахт Карагандинского угольного бассейна характерно применение технологических схем, которые обеспечивают в конкретных горно-геологических условиях наименьшие затраты на проведение выработки, оптимальную скорость проходки и высокий уровень производительности труда проходчиков.

Для крепления горных выработок на шахтах используются металлорамная, комбинированная и анкерная крепи, обеспечивающие наименьшие затраты на проведение и поддержание выработки с учетом возможности повторного использования материалов.

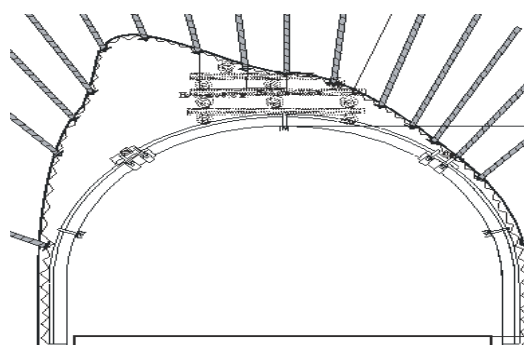
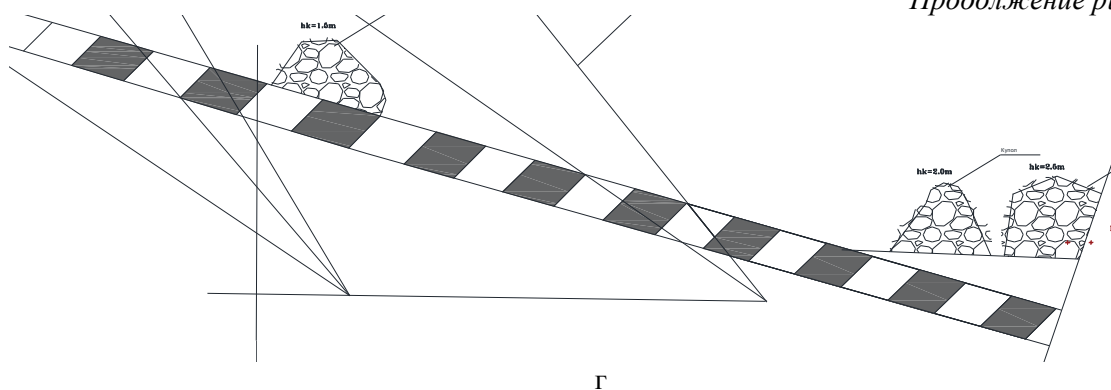
Моделирование произведено с использованием программного комплекса ANSYS с построением расчетной модели массива пород вокруг горной выработки, разбитой на конечные элементы. В качестве объекта моделирования рассматривалась горная выработка 7-го западного конвейерного квершлага пласта  $K_{10}$  шахты «Саранская» Карагандинского угольного бассейна.

На рисунке 1 представлены схемы обрушения пород кровли при проведении выработки с образованием куполов в кровле (сечения обрушений: а – сбоку, б – по центру, в – с присечкой крепких боковых пород) и зоны сдвижения вмещающих пород (г), которые приводили к выкладке деревянных клетей и установке кровельных и боковых анкеров в куполах (на высоте с использованием подмостков), что является трудоемкой и небезопасной операцией (рисунок 2).



**Рисунок 1 – Обрушения пород кровли выработки с образованием куполов при пересечении тектонического нарушения**

*(Продолжение рис. 1 смотри на след. странице)*

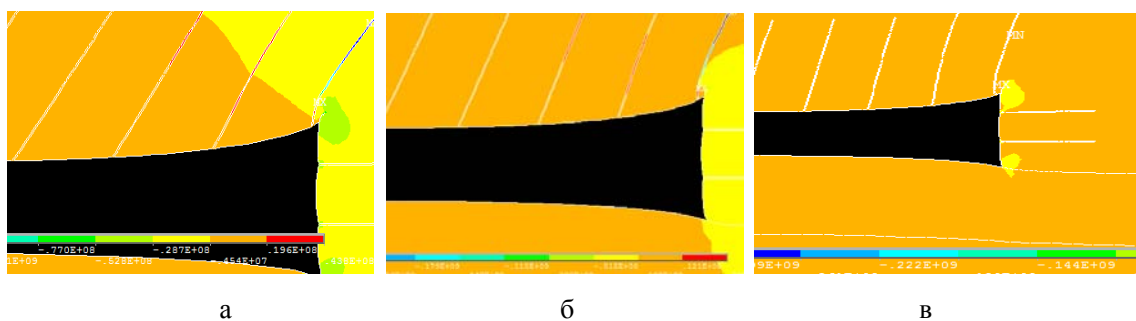


**Рисунок 2 – Выкладка деревянных клеток и установка кровельных анкеров в куполах**

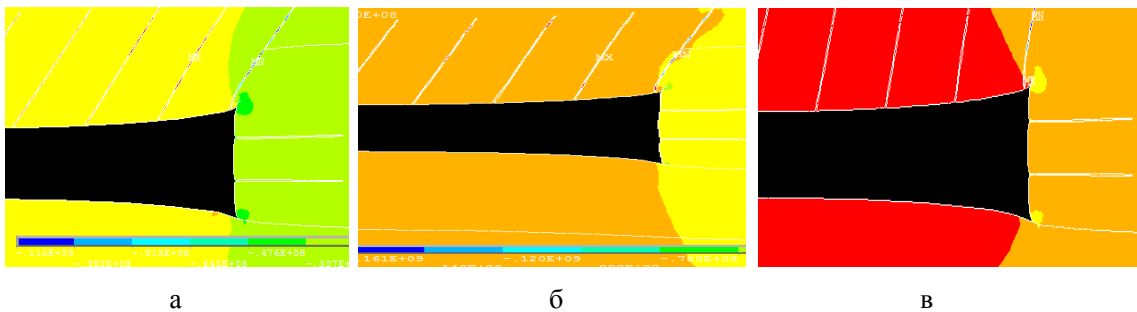
Для определения параметров заложения опережающего крепления проведены геомеханические исследования по определению угла наклона анкерной крепи при различных условиях.

При изменении угла наклона, шага установки анкерной крепи и условий ослабленных (в геологическом нарушении) по прочности пород кровли были получены следующие зависимости для различных условий прочности пород кровли:

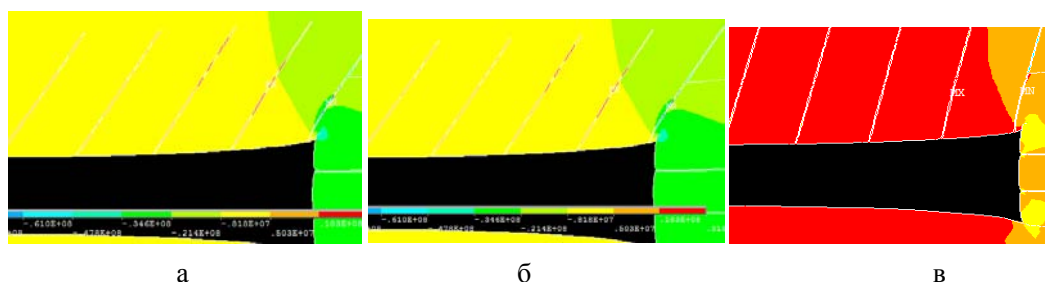
- для слабых пород с прочностью на одноосное сжатие  $R_c = 15$  МПа (рисунок 3);
- для пород  $R_c = 25$  МПа (рисунок 4);
- для пород  $R_c = 35$  МПа (рисунок 5).



**Рисунок 3 – Изменение деформированного состояния пород вокруг выработки для слабых пород кровли с прочностью на сжатие  $R_c = 15$  МПа при угле установки опережающего анкерного крепления ( $\alpha$ , град)**  
*а – 55°; б – 65°; в – 75°*



**Рисунок 4 – Изменение НДС пород вокруг выработки для нарушенных пород кровли с прочностью на сжатие  $R_c = 25$  МПа при угле установки опережающего анкерного крепления ( $\alpha$ , град)  
 $a - 55^\circ$ ;  $б - 65^\circ$ ;  $в - 75^\circ$**



**Рисунок 5 – Изменение напряженного состояния пород вокруг выработки для ослабленных пород кровли с прочностью на сжатие  $R_c=35$  МПа  
 $a - 55^\circ$ ;  $б - 65^\circ$ ;  $в - 75^\circ$**

Из проведенного исследования следует, что наиболее приемлемый оптимальный угол наклона анкерной крепи при различных условиях в нарушенной зоне изменяется от 60 до 70° (от оси проведения выработки). Деформация контуров выработки меняется незначительно и находится в пределах 60–70 мм.

Чтобы исключить дорогостоящие, трудоемкие и небезопасные действия, предлагается технологическая схема крепления для пересечения тектонического нарушения забоем для превентивного опережающего воздействия на неустойчивый массив пород впереди фронта в виде опережающего анкерного крепления или использования нагнетательной крепи «Ирма» наперед забоя проводимой выработки.

***Кафедра «Маркшейдерское дело и геодезия»***

**Инициативная НИР «Разработка методики инструментального контроля состоянием устойчивости карьерных откосов с использованием GNSS технологий» (научный руководитель: ст. преп., PhD Ожигин Д.С.)**

Для контроля состояния устойчивости карьерных откосов на Западном и Дальнезападном карьерах АО «Жайремский ГОК» кроме высокоточных инструментальных наблюдений с применением электронного тахеометра Leica TS 16 дополнительно выполнялись измерения с использованием GNSS технологии.

Данная методика геодезических измерений позволяет изменить взгляд на требования к традиционной (классической) конструкции наблюдательных станций, т.е. станций с опорными реперами, вынесенными за границу возможного влияния горных работ на расстояние не менее 1,5 Н от границы горных работ (Н – глубина карьера, м), связанное с необходимостью обеспечения неподвижности опорных реперов.

Наблюдательные станции, на которых производятся геодезические измерения с применением GNSS технологий, могут быть представлены множеством реперов, не связанных между



собой в профильные линии. Анализ результатов измерений при этом производится путем определения векторного смещения каждого репера в отдельности.

Все измерения для определения пространственного положения реперов наблюдательных станций с более высокой точностью необходимо выполнять в дифференциальном режиме. Сущность дифференциального режима измерений заключается в следующем: измерения производятся с одновременным использованием двух GNSS приемников, один из которых является базовым и устанавливается на точке с известными координатами (пункт ГГС), а второй используется в качестве ровера (передвижного приемника) для определения координат интересующих точек.

Существует два способа дифференциального режима измерений: с постобработкой результатов измерений и измерений в RTK режиме (режиме реального времени).

При использовании режима измерений с постобработкой результатов сначала выполняются полевые измерения интересующих точек, а затем выполняется перенос результатов измерений из приемника в компьютер и обработка результатов с использованием специализированного программного обеспечения. Режим реального времени позволяет получать координаты определяемых точек непосредственно в полевых условиях, для этого между базовым приемником и ровером, снабженными радио или GSM-модемами, требуется наличие радиосвязи либо GSM-связи.

Для перехода из WGS-84 в местную систему координат создается файл трансформации системы координат, при этом необходимо иметь координаты каждого пункта трансформации в обеих системах координат, т.е. в WGS-84 и в местной системе координат. Качество ключа файла трансформации зависит от количества и схемы расположения пунктов, которые задействованы в вычислениях для выявления невязок.

Трансформация координат – это строгое математическое преобразование координат по 7 параметрам. Семь параметров трансформации – это три угла поворота вокруг осей ( $\omega_x$ ,  $\omega_y$ ,  $\omega_z$ ), смещение по осям ( $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$ ) и коэффициент изменения масштаба  $m$ , при переходе от эллипсоида к эллипсоиду (рисунок 6).

Для создания ключа файла трансформации координат Западного и Дальнезападного карьеров выбрано 7 опорных пунктов: ZAP005; ZAP002; ZAP011; ZAP013; 3830; VIOP2; IX-1 (рисунок 7).

Точность спутниковых наблюдений зависит от конфигурации спутникового созвездия в период выполнения приема данных. Влияние конфигурации спутникового созвездия на точность спутниковых определений характеризуется фактором понижения точности DOP (dilution of precision), представляющим

собой отношение среднеквадратической погрешности определения местоположения к среднеквадратической погрешности измерения расстояний до наблюдаемых спутников. Фактор DOP характеризуется безразмерной величиной, изменяющейся в пределах первых десятков. Наивысшая точность спутниковых определений достигается при наименьших значениях DOP. Идеальная для спутниковых определений конфигурация спутникового созвездия достигается в случае, когда один из спутников находится в зените, а остальные равномерно распределены по окружности с центром в определяемой точке так, что их возвышение над горизонтом составляет  $20^\circ$ . Ситуация, когда спутники сгруппированы в небольшой части неба, является неблагоприятной. Поэтому все полевые измерения с использованием GNSS технологий должны сопровождаться предварительным планированием времени и продолжительности спутниковых измерений. Данная процедура осуществляется с использованием специализированного программного обеспечения, поставляющегося вместе с GNSS приемниками.

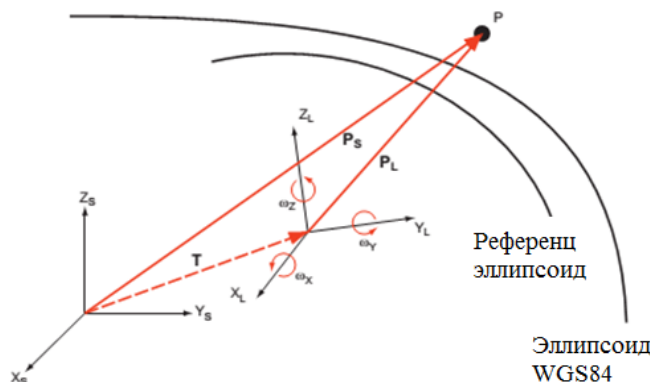
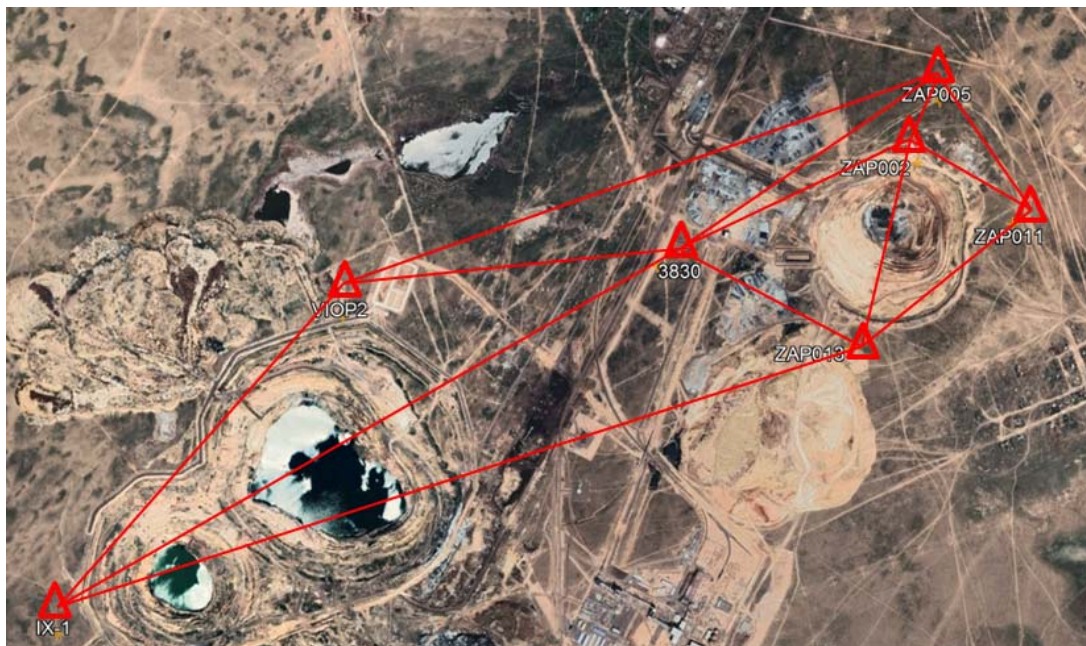


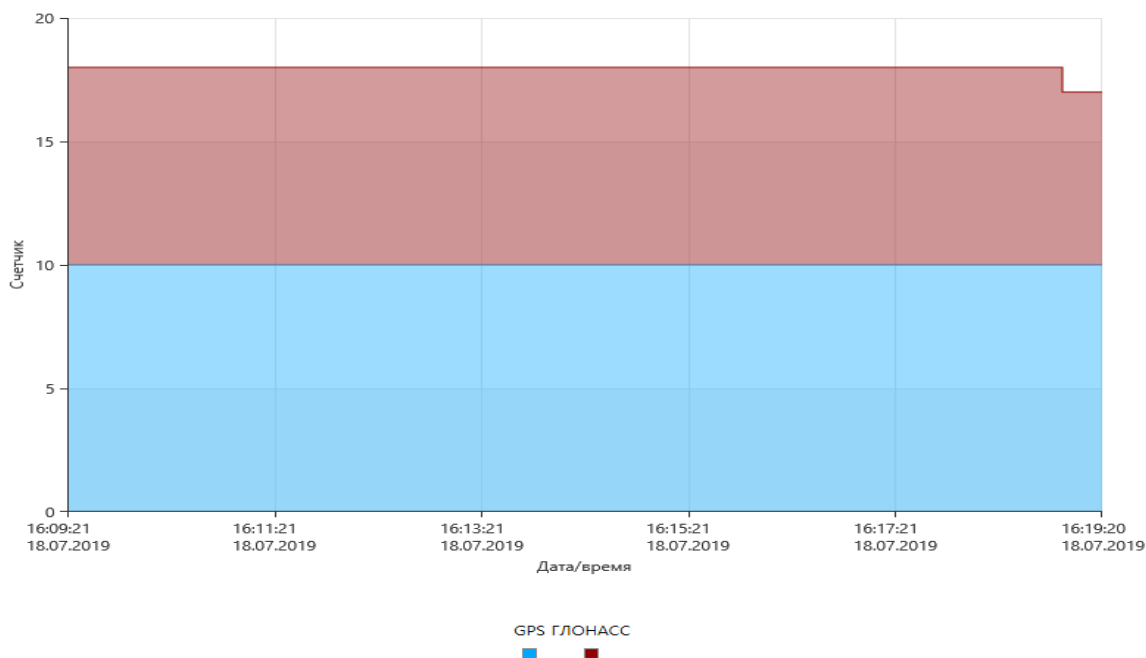
Рисунок 6 – Параметры трансформации



**Рисунок 7 – Местоположение опорных пунктов**

Исходными данными для прогнозирования спутникового созвездия являются координаты объекта работ и эфемеридная информация (альманах) о спутниках. В случае если в районе расположения наблюдаемых пунктов имеются предметы или сооружения, препятствующие прохождению радиосигналов от спутников, то в качестве исходной информации при прогнозировании необходимо использовать также значения высот и азимутов границ нахождения препятствий, определенные в ходе рекогносцировки.

Благоприятными для производства измерений являются промежутки времени, когда обеспечивается прием спутникового радиосигнала от 7-8 и более спутников при коэффициенте PDOP меньше 4 (рисунок 8).



**Рисунок 8 – Количество наблюдаемых спутников на точке ZAP005 в момент наблюдения**

При таких условиях наблюдений возможно проводить измерения на миллиметровом уровне точности.

Факторы, влияющие на снижение точности:

- орбиты спутников;
- наличие объектов-помех, закрывающих необходимые области неба;
- влияние атмосферы;
- отражение радиоволн.

Существуют параметры, являющиеся функциями соответствующих матриц ковариации, состоящих из элементов в глобальной или локальной геодезической системе координат:

- HDOP (HorizontalDilutionofPrecision) – снижение точности в горизонтальной плоскости;
- VDOP (Vertical) – снижение точности в вертикальной плоскости;
- PDOP (Position) – снижение точности по местоположению;
- TDOP (Time) – снижение точности по времени;
- GDOP (Geometric) – суммарное геометрическое снижение точности по местоположению и времени.

Снижения точности могут быть получены математически по положению доступных спутников (источников навигационного сигнала). Многие GNSS-приёмники позволяют отображать текущее расположение всех спутников («созвездие спутников») вместе со значениями DOP (таблица 1).

**Таблица 1**

**Значение DOP**

Значение DOP	Точность	Описание
≤1	Идеальная	Рекомендуется к использованию в системах, требующих максимально возможную точность за всё время их работы.
2-3	Отличная	Достаточная точность для использования результатов измерений в достаточно чувствительной аппаратуре и программах.
4-6	Хорошая	Рекомендуемый минимум для принятия решений по полученным результатам. Результаты могут быть использованы для достаточно точных навигационных указаний.
7-8	Средняя	Результаты можно использовать в вычислениях, однако рекомендуется позаботиться о повышении точности, например, выйти на более открытое место.
9-20	Ниже среднего	Результаты могут использоваться только для грубого определения местоположения.
21-50	Плохая	Обычно такие результаты должны быть отброшены.

Для каждой определяемой точки в программном комплексе LeicaInfinity определен фактор DOP, представленный в виде графика на рисунке 9.

GNSS наблюдения за реперами наблюдательных станций, выполняются с использованием оборудования швейцарской фирмы LeicaGeosystems (рисунок 10).

Координаты реперов наблюдательных станций определяются при помощи GNSS приемников в статическом режиме с продолжительностью измерений 15-30 минут на каждый.

I. При активной стадии деформаций карьерных откосов применение предлагаемой методики измерений позволяет оперативно (в течение одного дня) получить полную картину смещений и своевременно разработать мероприятия по обеспечению устойчивости прибортовых массивов.

На Западном и Дальнезападном карьерах АО «Жайремский ГОК», согласно календарному плану договора №3110/2019-2015 (19.11.08) от 28.06.2019 г. выполнены две серии инструментальных маркшейдерско-геодезических наблюдений за состоянием устойчивости откосов уступов, бортов и отвала. Далее представлены результаты по каждой серии наблюдений.

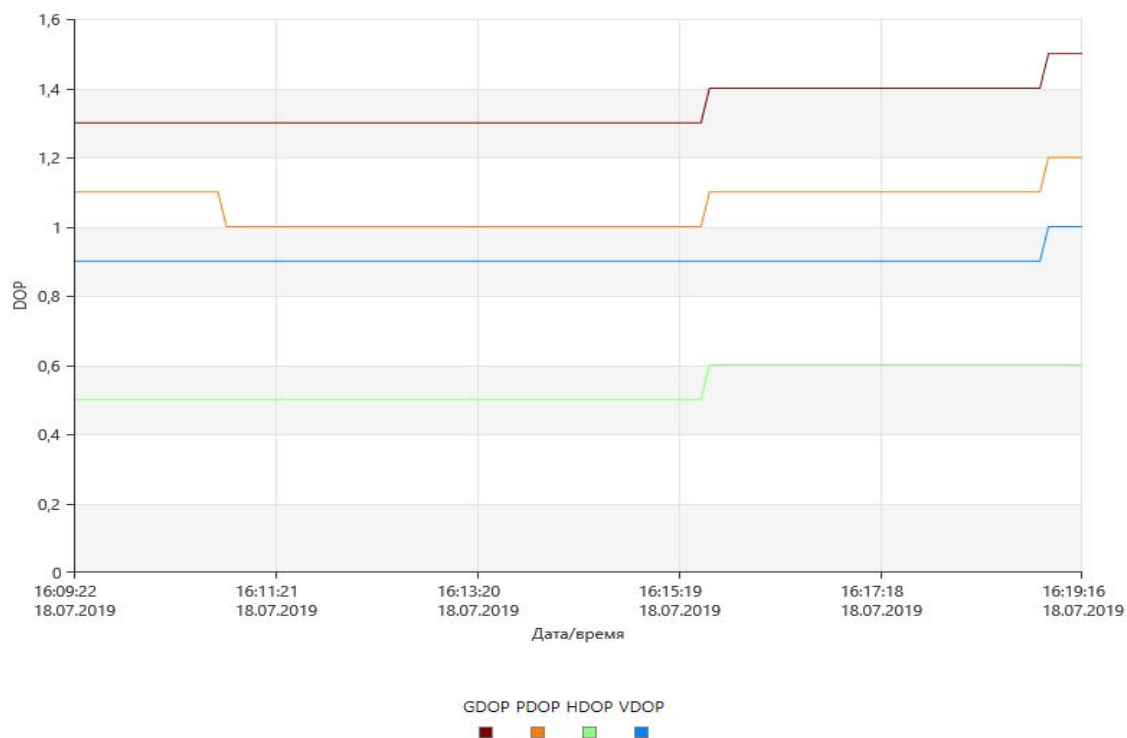


Рисунок 9 – Значение фактора DOP на точке ZAP005 на момент наблюдения



Рисунок 10 – Контроль состояния устойчивости карьерных откосов с использованием GNSS  
*а – базовая станция LeicaGS 14, установленная на штативе;*  
*б – измерение координат опорного репера наблюдательной станции II (LeicaGS 14)*

### 2.33. ИНСТИТУТ ГЕОМЕХАНИКИ И ОСВОЕНИЯ НЕДР НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

В 2019 году деятельность института в области фундаментальных и прикладных исследований была направлена на решение задач по следующим приоритетным научным исследованиям:

- Геомеханика массивов горных пород (оценка свойств и напряженного состояния горных пород и массивов; разработка и усовершенствование методов их определения; оценка устойчивости подземных выработок, горных склонов и откосов дорог, гидротехнических сооружений и бортов карьеров; физическое и математическое моделирование).



- Геотехнология освоения недр (горно-экономическая оценка и проектирование месторождений; технология разработки полезных ископаемых).
- Геоэкология горнопромышленных районов (оценка, прогнозирование и предотвращение природно-техногенных катастроф; оценка экологических рисков; геоэкологическое сопровождение проектов; создание методов, приборов и аппаратур).

### Важнейшие результаты исследований по проектам в 2019 году

#### Проект: Обоснование и разработка методов управления геомеханическими процессами при освоении месторождений и строительстве дорог в горноскладчатых областях

Разработана математическая модель напряженного состояния вокруг камеры прямоугольного сечения в условиях действия вертикальных гравитационных и горизонтальных тектонических напряжений для проведения расчетов в программной среде MATCAD;

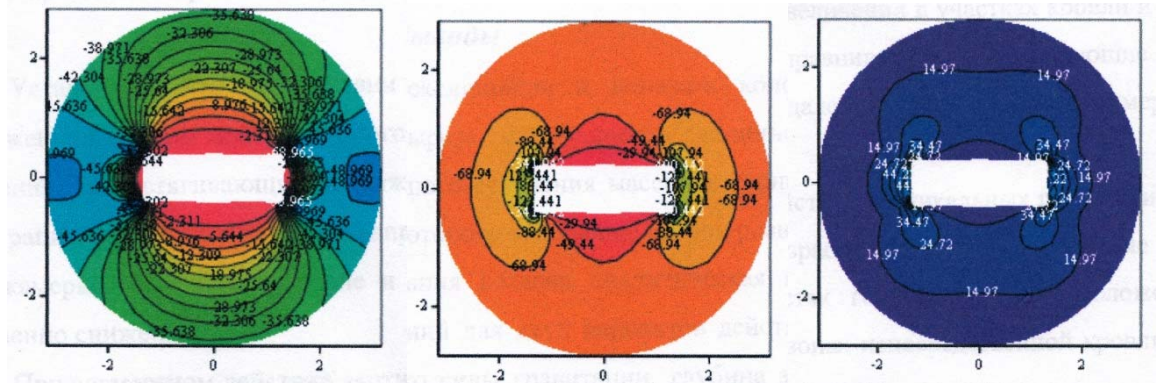


Рисунок 1 — Изолинии главных нормальных и максимальных касательных напряжений вокруг подземной камеры

Разработана установка и обоснована методика исследования кинематических параметров скольжения: смещений и скоростей смещений при заданных нормальных нагрузках. Экспериментально установлено, что сопротивление отрыву по контакту превышает сопротивление сдвигу при одинаковых условиях.

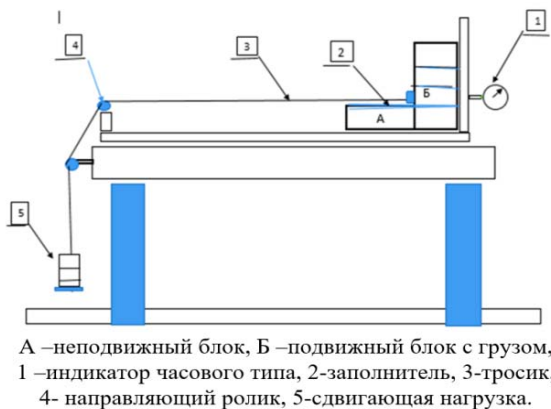


Рисунок 2 — Схема упрощенной экспериментальной установки типа слайдер-модели

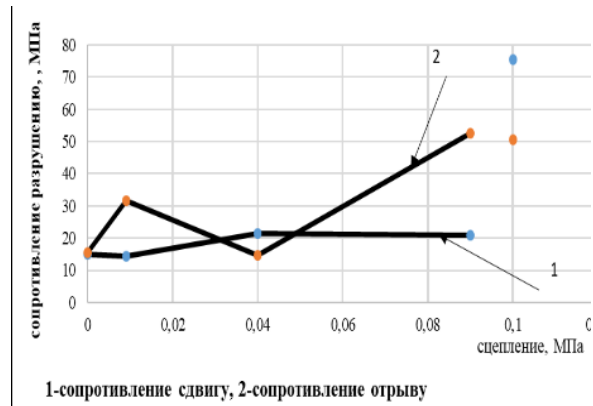


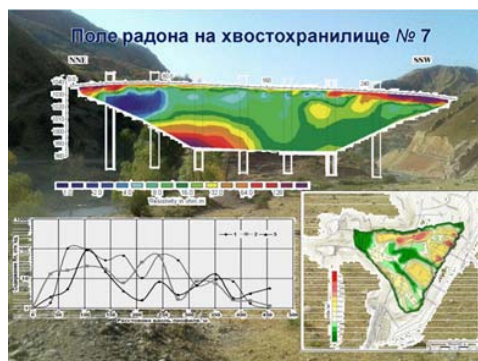
Рисунок 3 — Зависимость разрушающей нагрузки от контакта

#### Проект: Оценка, мониторинг и прогнозирование опасных природно-техногенных процессов и геоэкологических рисков в горнопромышленных районах и на гидротехнических объектах Кыргызстана

Разработаны научно-технические предложения по экспресс-оценке безопасности действующих и законсервированных хранилищ горнопромышленных отходов, обоснован и предло-

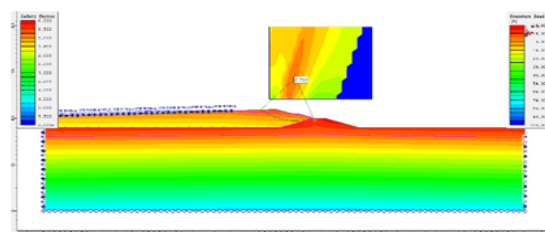
жен расчётный вариант индексного метода выбора наиболее подходящей стратегии реабилитации таких объектов и позволяющий оценивать эффективность риска управленческих решений

Проведены расчёты для геотехнической устойчивости дамб хранилища отходов рудника Иштамберды.



**Рисунок 4 – Поле радона на хвостохранилище**

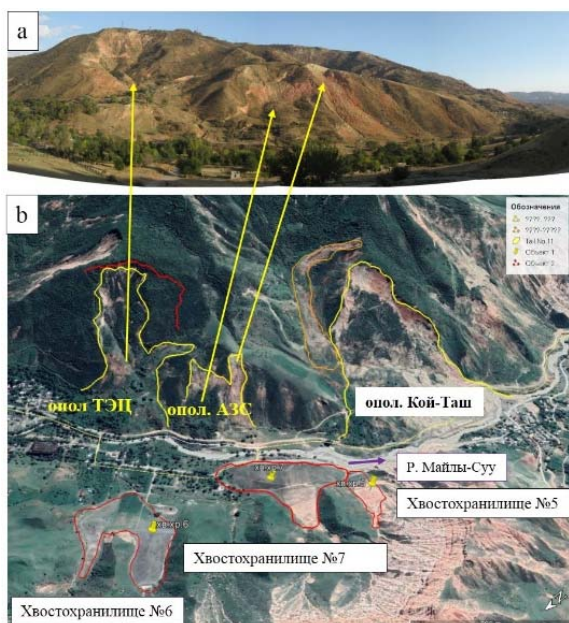
**Модель дамбы 2 со средним коэффициентом устойчивости, полученным при землетрясении 9 баллов**



**Рисунок 5 – Модель дамбы хвостохранилища**

Оценены оползневая ситуация и риски в урочище Кульмен-Сай, куда планировалось осуществить перенос хвостохранилищ из поймы реки Майлы-Суу и последствий повторной разгрузки оползня Кой-Таш с рекомендациями по защите хвостохранилищ №5 и №7, расположенных в зоне оползневого поражения.

Завершена оценка гео-рисков в Айдаркен-Кадамжайском горнопромышленном районе, которые могут быть вызваны сильными землетрясениями и селями. Результаты оценки комплекса гео-рисков доведены до сведения представителей администрации Кадамжайского района Баткенской области, Кадамжайского сурьмяного комбината и Хайдарканского ртутного комбината.



**Рисунок 6 – Оползневая ситуация в районе реки Майлуу-Суу**

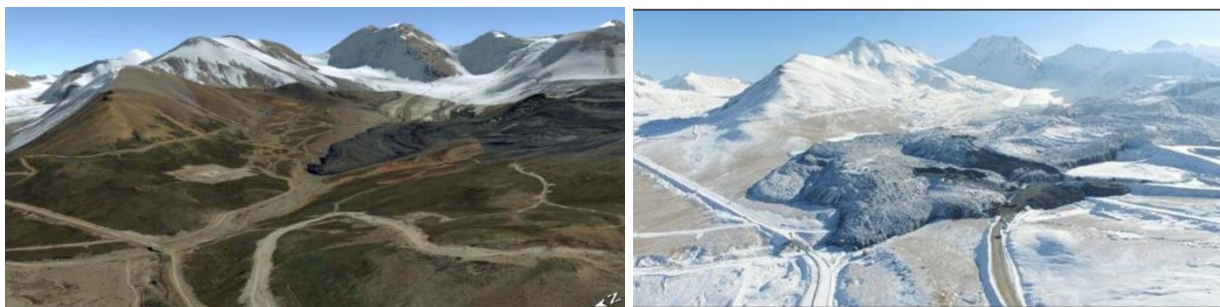


**Рисунок 7 – Хвостохранилище «Дальнее»**

Выявлены особенности деформации неустойчивого блока массива горных пород на участке основных сооружений Токтогульской ГЭС под влиянием природных факторов. Разработана методика оперативной ежеквартальной оценки устойчивости правобережного блока 59-1.



Одной из основных причин обрушения отвалов, произошедшего в бассейне ледника Лысый 1 декабря 2019 г., по имеющейся у института информации, стала чрезмерная перегрузка отвалов в верхней части склона, характеризующегося крутизной до 20-22° и сложенного с поверхности льдонасыщенными многолетнемерзлыми породами, уязвимыми по отношению к нагрузению мощными отвалами и потеплению климата.



**Рисунок 8 – Высокогорный рудник Кумтор: долина ледника до и после обрушения отвалов – техногенного оползня**

#### **Проект: Технологическое и экономическое обоснование и разработка методов рационального освоения месторождений Кыргызской Республики**

Разработаны предложения по совершенствованию действующей нормативно-правовой базы в сфере недропользования (Закон «О недрах», «Горный кодекс»).

Проведены технико-экономические расчеты по внедрению технологии безвзрывной выемке руды при отработке тонких жил на золоторудном месторождении Иштамберды.

#### **Основные результаты прикладных исследований**

1. По Договору с ООО «Альянс Алтын» составлена заключение на основе выполненных инженерно-геологических и гидрогеологических изысканий и безопасности формирования отвалов на планируемых местах отвалообразований.

2. По контракту с компанией WISUTEC участвовали в проекте Международного консорциума WISUTEC «Проведение комплексной оценки воздействия на окружающую среду и технико-экономическое обоснование управления и рекультивации бывшего уранового комплекса Майлуу-Суу».

3. По контракту ICEM (Международный центр по экологическому управлению) выполнены работы по оказанию консультационных услуг на 2019-2020 гг.

4. По договору с Каскадом Токтогульских ГЭС были выполнены работы «Мониторинг потенциально неустойчивых массивов на участке основных сооружений Токтогульской ГЭС».

5. По договору с МЧС КР выполнена работа по определению морозостойкости рванного камня карьера Арал Таласской области.

### **2.34. РЕСПУБЛИКАНСКИЙ АКАДЕМИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ И ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСКИЙ ИНСТИТУТ-ГОРНОЙ ГЕОЛОГИИ, ГЕОМЕХАНИКИ, ГЕОФИЗИКИ И МАРКШЕЙДЕРСКОГО ДЕЛА МИНИСТЕРСТВА ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ ДЕНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ**

1. Установлены особенности формирования областей запрдельного состояния вокруг выемочной выработки, охраняемой искусственными опорами.

Определены критерии, определяющие устойчивость вмещающих массив пород, подготавливающих и подготовительных горных выработок.

Установлен теоретический критерий склонности горного массива к клинообразованию (потере устойчивости).

Определена ширина зоны опорного давления в районе угольного пласта, разрабатываемого на большой глубине, и значения смещений пород в горных выработках при отсутствии влияния очистных работ в подготавливающих и подготовительных выработках.

2. Установлены закономерности поведения породных слоев над выработанным пространством в процессе ведения очистных работ и факт поднятия породных слоев кровли при их изгибе над выработанным пространством и максимальном пролете.

3. Разработан математический аппарат и создана математическая модель «затопления-откачки» одиночной горной выработки для условий пологого залегания угольных пластов, что позволяет оценивать проницаемость горных пород вблизи одиночной выработки и выявлять закономерности изменения фильтрационных свойств массива в зависимости от его напряженно-деформированного состояния при решении вопросов по изучению и прогнозу изменений техногенного режима подземных вод при массовом закрытии шахт.

4. Впервые разработаны методика формирования и визуализации цифровых моделей рельефа для территорий Донбасса в зонах влияния горных работ, программа визуализации цифровых моделей рельефа и программа трёхмерного моделирования изменения рельефа при подработке местности подземными очистными работами, позволяющие отображать поэтапный прогноз изменения рельефа местности при подработке, что позволяет обеспечить безопасную эксплуатацию подземных и наземных сооружений.

5. Впервые создана обобщенная генетическая модель газоносности углей, в которой газоносность выражается через три генетических параметра (метаморфизм, мацеральный состав и восстановленность) углей с учетом термодинамических условий залегания угольных пластов, использование которых существенно повышает достоверность оценки газоносности. Создана единая система для определения газоносности углей и вмещающих пород в связи с их генетическими и эпигенетическими изменениями, позволяющая по результатам геофизических исследований скважин оценивать связанную газоносность углей, а также связанную и свободную газоносность угле вмещающих пород на всю глубину разведки месторождения.

### **2.35. ООО «ГЕОСЕРВИС» (РЕСПУБЛИКА АРМЕНИЯ)**

В консалтинговой компании ООО «ГЕОСЕРВИС» (г. Ереван, Республика Армения) в 2019г. были проведены научно-исследовательские работы в рамках подготовки докторской диссертации заместителя директора по научной работе, к.т.н. А.Ю.Агабаляна.

Основная цель проведенных исследований – совершенствование принципов промышленной оценки рудных месторождений на основе совместной оптимизации параметров кондиций и показателей переработки руд при открытой геотехнологии.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

1. Проведен анализ факторов, влияющих на результаты промышленной оценки рудных месторождений. Выделены ключевые природные факторы, имеющие существенное влияние на параметры освоения рудных месторождений при открытой геотехнологии. Изучена взаимосвязь двух фундаментальных проблем недропользования – геоэкологии и комплексного освоения недр.

Проведен квалиметрический анализ исходных данных и результатов промышленной оценки месторождений. Особое внимание уделено анализу разных методов обоснования параметров кондиций.

Выявлены разные цели и адресаты сводов правил (JORK) и классификаций запасов и ресурсов твердых полезных ископаемых разных стран, на основании которых проведен анализ их совместимости и применимости.

2. Проведена систематизация природных условий недропользования и представлена в виде сводной таблицы с буквенно-числовым обозначением групп и свойств. Детально изучено влияние топографических факторов на возможное расширение конечных контуров нагорно-глубинных карьеров.

Известные формулы определения предельной глубины карьера получены для равнинных условий местности. Методами геометризации месторождений, доказаны возможности расширения конечных контуров карьера при нагорно-глубинных карьерах. При косогорном рельефе местности в поперечном направлении рудного тела получены формулы (плоская и объёмная задачи) дополнительной углубки карьера с разносом борта в нижней части косогора.

При косогорном рельефе местности в продольном направлении вытянутых рудных тел, получена формула величины дополнительного разноса торцового борта карьера в верхней части косогора. На конкретном примере показаны возможности создания более благоприятных условий для дальнейшей подземной геотехнологии, в результате чего месторождение может быть разработано комбинированным способом, как в горизонтальном, так и в вертикальном направлениях.

3. Проведен анализ отходности горно-перерабатывающих комплексов (ГПК) при открытой геотехнологии. Абсолютные показатели отходов и площадей отчуждаемых земель зависят от масштабов производства и не дают сравнительного представления о степени отходности горно-перерабатывающих комплексов. Коэффициенты вскрыши и горной массы являются относительными показателями отходности открытой геотехнологии и не учитывают отходов обогатительного производства.

Сравнительные показатели отходности должны учитывать экологическое воздействие и экономическую эффективность горно-перерабатывающего производства, т.е. по сути являться показателями удельной Эколого-Экономической Эффективности (3Э).

В качестве показателей 3Э предложены следующие коэффициенты отходности ГПК.

Для сравнения аналогичных по полезному ископаемому и товарной продукции ГПК предложены коэффициенты отходности по выпуску условных концентратов  $K_{o.k}$  и металлов  $K_{o.m}$ :

$$K_{o.k} = \frac{K_g + 1 - \gamma}{\gamma}, \quad (1)$$

$$K_{o.m} = \frac{K_g + 1 - \gamma}{\gamma\beta}, \quad (2)$$

где  $K_g$  – коэффициент вскрыши, т/т;  $\gamma$  – выход концентрата, доли ед.;  $\beta$  – содержание металла в концентрате, % (г/т).

Для сравнения принципиально отличных ГПК предложены методы сравнения удельных коэффициентов отходности по получаемому валовому доходу  $K_{o.d}$  или валовой прибыли  $K_{o.p}$ :

$$K_{o.d} = \frac{Q_{г.м} - Q_k}{D_v}, \quad (3)$$

$$K_{o.p} = \frac{Q_{г.м} - Q_k}{P}, \quad (4)$$

где  $Q_{г.м}$  – количество горной массы, т;  $Q_k$  – количество концентрата, т;  $D_v$  – валовый доход, у.е.; где  $P$  – прибыль, у.е.

На основе предложенных показателей 3Э, в таблице 1 представлена Классификация горно-перерабатывающих комбинатов по степени отходности.

Таблица 1

Классификация горно-перерабатывающих комбинатов по степени отходности

Группы ГПК по степени отходности производства	Значение показателей 3Э			
	Для аналогичных ГПК		Универсальные	
	$K_{o.k}$ , т/т	$K_{o.m}$ , т/т	$K_{o.d}$ , т/\$	$K_{o.p}$ , т/\$
I. Малоотходные	< 100	< 300	< 0.10	< 0.3
II. Средней отходности	100 – 160	300 – 700	0.10 – 0.16	0.3 – 0.7
III. Высокой отходности	160 – 220	700 – 1000	0.16 – 0.22	0.7 – 1.0
IV. Весьма отходные	> 220	> 1000	> 0.22	> 1.0

4. Методами математической статистики и высшей математики дано обоснование корреляционной зависимости функции приближения содержания в хвостах обогащения  $\theta$  от содержания металла  $\alpha$  в исходной руде в определенном доверительном интервале:

$$\theta = \alpha\alpha + b, \quad (5)$$

где  $a$  и  $b$  – численные коэффициенты.

Подставив значение  $\theta$  из уравнения (5) в известную формулу выхода концентрата, получим

$$\gamma = \frac{\alpha(1 - a) - b}{\beta - a\alpha - b}. \quad (6)$$

Из полученного уравнения (6) при  $\gamma=0$ , можно получить формулу определения неизвлекаемого содержания  $\alpha_n$ , которое полностью переходит в хвосты обогащения. В этом случае неизвлекаемое содержание  $\alpha_n$  выражает значение отвального содержания  $\theta_o$  в хвостах обогащения

$$\alpha_n = \theta_o = \frac{b}{1 - a}. \quad (7)$$

5. Особое внимание в исследованиях уделено методологическим основам промышленной оценки рудных месторождений при открытой геотехнологии.

В рамках данного направления исследований обоснован общий критерий оптимальности при комплексном освоении месторождений.

Проведена систематизация задач оптимального недропользования при комплексном освоении месторождений и представлена в виде классификации (таблица 2). В зависимости от характера основных задач проведена их группировка. Обоснована трансформация критерия оптимальности по группам от общего к частному, а от частного к локальным.

Таблица 2

Классификация задач и критерии оптимальности системы недропользования

Группа	Характеристика параметров группы	Основные задачи группы	Критерий оптимальности
<b>A</b>	Все параметры переменные	1. Выбор способа разработки 2. Выбор технологии переработки руд 3. Обоснование параметров кондиций по способам разработки	<b>Общий:</b> Максимум экономического эффекта от освоения запасов за весь срок эксплуатации месторождения
<b>B</b>	$Q_b = \text{const}$ Остальные параметры переменные	1. Выбор оптимальных систем подземной разработки 2. Оптимизация элементов системы разработки и режима открытых горных работ 3. Обоснование целесообразных границ валовой и селективной добычи руд 4. Определение оптимальных показателей переработки руд разного качества	<b>Частный:</b> Оптимизация качества и количества извлечения руд при добыче и ценных компонентов при переработке руд
<b>C-I</b>	Переменные параметры – A, K, C	1. Определение оптимальной годовой производительности предприятия по полезному ископаемому (A) 2. Проектирование создания необходимой инфраструктуры, проходки горно-капитальных выработок, строительства зданий и сооружений 3. Выбор вида и расчет количества горно-транспортных машин и механизмов, оборудования для переработки руд 4. Определение величины капитальных вложений (K)	<b>Локальные:</b> Использование эксплуатационных запасов с минимальными затратами  Минимизация капитальных вложений
<b>C-II</b>	Переменный параметр – C	1. Выявление и реализация возможностей сокращения величины эксплуатационных затрат добычи и переработки руд (C)	Минимизация себестоимости добычи и переработки руд

Для решения основных задач каждой из групп обоснованы целевые функции, которые также трансформируются в соответствии с критерием оптимальности.

6. Ключевой проблемой промышленной оценки рудных месторождений является технико-экономическое обоснование параметров кондиций.

С целью технико-экономического обоснования лимитов содержаний приведены геометрические интерпретации бортового и минимального промышленного содержаний.

Доказано, что при элементарном приросте мощности ( $\Delta m \rightarrow 0$ ) рудного тела, бортовое содержание является математическим пределом минимального промышленного содержания.

Методология решения данной задачи представлена на примере открытой разработки двухкомпонентного рудного тела штокверкового типа.

В этом случае, горная масса, удаляемая из конечных контуров карьера по экономической значимости, делится на балансовые (положительная экономическая значимость) руды, забалансовые (потенциальная экономическая значимость) руды и вскрышные породы (отрицательная экономическая значимость).

Очевидно, что два последних отмеченных компонента горной массы на момент отработки представляют собой текущие отходы открытой геотехнологии (в масштабах ГОК-а к отмеченным текущим отходам добавляются еще и хвосты обогащения).

Когда речь идет о трехкомпонентной горной массе карьера, общепринятое понятие «коэффициент вскрыши» отражает отношение массы всего лишь одного из текущих отходов эксплуатации месторождения к массе балансовой руды.

В конечных контурах карьера масса текущих отходов  $Q_{т.о.к}$  выражается суммой масс вскрышных пород  $Q_в$  и забалансовой руды  $Q_з$

$$Q_{т.о.к} = Q_в + Q_з \quad (8)$$

В этом случае, видится не совсем корректным использование термина «коэффициент вскрыши», который при наличии забалансовых руд, по своей сути трансформируется в понятие «коэффициента текущих отходов карьера»  $K_{т.о.к}$ . Последний определяется отношением массы текущих отходов  $Q_{т.о.к}$  к балансовым запасам  $Q_б$  и, в конечном счете, суммой коэффициента вскрыши  $K_в$  (отношение массы вскрышных пород к балансовым запасам) и коэффициента забалансовых запасов  $K_{з.б}$  (отношение масс забалансовых и балансовых запасов):

$$K_{т.о.к} = \frac{Q_{т.о.к}}{Q_б} = \frac{Q_в + Q_{з.б}}{Q_б} = \frac{Q_в}{Q_б} + \frac{Q_{з.б}}{Q_б} = K_в + K_{з.б} \quad (9)$$

С учетом отмеченного обстоятельства, полную себестоимость  $C$  конечной продукции ГОКа (концентрата) можно представить в следующем развернутом виде:

$$C = Z_д + Z_n + K_в Z_в + K_з Z_з + a_n + a_a + H_c, \quad (10)$$

где  $Z_д$  – эксплуатационные затраты на добычу и транспортировку руды до обогатительной фабрики, у.е./т;  $Z_n$  – эксплуатационные затраты на переработку руды, у.е./т;  $K_в$  и  $K_з$  – эксплуатационные коэффициенты вскрыши и забалансовых руд, соответственно, т/т;  $Z_в$  – эксплуатационные затраты на удаление 1 тонны вскрыши, отвалообразование и ликвидацию ущерба, наносимого окружающей среде, у.е./т;  $Z_з$  – эксплуатационные затраты на удаление и складирование 1 тонны забалансовой руды, у.е./т;  $a_n$  – амортизационные отчисления на пассивные фонды (здания и сооружения), у.е./т;  $a_a$  – амортизационные отчисления на активные фонды (машины, механизмы и оборудование), у.е./т;  $H_c$  – относимые на себестоимость налоги и платежи за право пользования недрами.

В классической монографии акад. М.И.Агошкова детально проанализирована структура эксплуатационных затрат и выделены пропорциональные части – постоянные на 1 т руды ( $Z'$ ) и постоянные во времени ( $Z''$ ).

Тогда формулу полной себестоимости (4.5) можно записать в следующем виде:

$$C = Z'_д + Z'_n + K'_в Z'_в + K'_з Z'_з + a_a + H_c + \frac{Z''_д + Z''_n + Z''_в + Z''_з}{A_p} + \frac{K_{п.ф}}{T_c A_p} \quad (11)$$

где  $A_p$  – производительность карьера по руде, т/г;  $K_{п.ф}$  – капитальные вложения в пассивные фонды (здания и сооружения), у.е.;  $T_c$  – срок службы карьера, лет.

Результатом решения задач обоснования параметров кондиций является оконтуривание и подсчет балансовых запасов месторождения, от которых зависит годовая производительность ГОКа. Следовательно, при решении данной задачи должно быть исключено использование показателей, зависящих от количества запасов и производительности, так как аргумент (независимая переменная) не может зависеть от функции (зависимой переменной). На основании этого утверждения, а также исходя из того, что постоянные во времени (год) затраты должны быть произведены независимо от запасов и производительности ГОКа, то при определении стоимостного выражения лимитов содержаний дробные слагаемые формулы (11) должны быть исключены.

Далее, лимиты содержаний (бортное содержание) устанавливают границу между балансовыми и забалансовыми запасами. Независимо от балансовой принадлежности рассматриваемого блока, вскрышные породы должны быть удалены, следовательно,  $Z'_g = 0$ . Очевидно также, что независимо от балансовой принадлежности (экономической значимости) данного блока, он должен быть извлечен из недр и транспортирован. От кондиционности блока зависит только адрес транспортировки: склад обогатительной фабрики – при балансовой принадлежности или временный склад бедных руд – при забалансовой принадлежности руды в блоке.

Первый вариант является возможным и благоприятным, а второй – в худшем случае, неизбежным. Следовательно, при оценке данного блока и определении стоимостного выражения минимального промышленного содержания, должна учитываться разность между возможными и неизбежными затратами:  $Z'_0 - Z'_3$ .

На основании вышеизложенного, уравнение стоимостного выражения лимитов содержаний будет иметь следующий окончательный вид:

$$D_{\text{лим}} = Z'_0 - Z'_3 + Z'_n + a_a + H_c \quad (12)$$

7. Определение минимального промышленного содержания основано на равенстве полученного его стоимостного выражения  $D_{\text{min}}$  с извлекаемой ценностью приростного объема  $\Delta I_{\text{ц}}$ :

$$D_{\text{min}} = \Delta I_{\text{ц}} \quad (13)$$

С учетом формул извлекаемой ценности и уравнения (5), формула натурального значения минимального промышленного содержания будет иметь следующий вид:

$$\alpha_{\text{min}} = \frac{D_{\text{min}}(\beta - b) + b\Pi_{\text{к}}}{(\Pi_{\text{к}}(1 - a) + D_{\text{min}}a)K_{\text{к}}}, \quad (14)$$

где  $K_{\text{к}}$  – коэффициент изменения качества руды при добыче, доли ед. (при определении бортного содержания  $K_{\text{к}}=1$ ).

8. Разработана принципиально новая методика оценки забалансовых запасов на основе экономической классификации запасов полезных ископаемых Республики Армения (таблица 3).

Таблица 3

Экономическая классификация запасов полезных ископаемых Республики Армения

Балансовые запасы		Забалансовые запасы		
Подгруппы	Коэффициент ценности, $K_{\text{ц}}$	Подгруппы	Коэффициент ценности, $K_{\text{ц}}$	Ожидаемые сроки перевода в балансовые, $\tau$
І.Б. Особо ценные	>1.5	І.3. Весьма перспективные	[0.7-1.0[	< 15
ІІ.Б. Ценные	[1.2-1.5]	ІІ.3. Перспективные	[0.5-0.7[	15-30
ІІІ.Б. Нормативной ценности	[1.0-1.2[	ІІІ.3. Мало-перспективные	[0.3-0.5[	30-50



В качестве классификационного признака принят «коэффициент ценности»  $K_{ц}$  – отношение извлекаемой ценности  $I_{ц}$  к приведенным затратам  $Z_{пр}$ :

$$K_{ц} = \frac{I_{ц}}{Z_{пр}}. \quad (15)$$

Ожидаемый срок перевода забалансовых запасов в балансовые можно определить из следующего уравнения:

$$I_{ц}\rho_{ц}^{\tau} = Z_{пр}\rho_{з}^{\tau}, \quad (16)$$

где  $\rho_{ц}$  и  $\rho_{з}$  – прогнозируемые показатели годового изменения цен на металлы и удельных затрат на добычу и переработку 1 т руды, соответственно, доли ед.;  $\tau$  – ожидаемый срок перевода забалансовой руды в балансовую, лет.

Для получения числовых значений параметров определения ожидаемого срока, проведен анализ тенденции роста мировых цен на основные металлы за период в 77 лет – с 1940 по 2017 г.г. Выявлена линия экономического тренда и получена ее аналитическая зависимость.

Предложенный принцип основан на определении среднего содержания  $\alpha_{ср.з}$  в забалансовых запасах на основе ожидаемого срока их перевода в балансовые.

$$\alpha_{ср.з} = \frac{100 Z_{пр.з}}{Ц_{м} K_{к} \varepsilon_{з}} \left( \frac{\rho_{з}}{\rho_{ц}} \right)^{\tau}. \quad (17)$$

где  $Z_{пр.з}$  – приведенные затраты на погрузку, транспортировку и переработку бедной руды с временного склада, у.е./т;  $Ц_{м}$  – цена металла в концентрате, у.е./т;  $\varepsilon_{з}$  – извлечение металла в концентрат из бедной руды, %.

На конкретном примере показана методика определения требуемого среднего содержания и бортовых содержаний металлов в забалансовых запасах. На основе качественного разграничения элементов горной массы карьера, показаны графические зависимости определения количественных показателей.

9. Разработан графоаналитический метод определения границ областей экономической значимости элементов горной массы карьера при двухкомпонентной руде. Метод проиллюстрирован на примере оценки медно-молибденового месторождения, где полученные аналитические зависимости границ областей экономической значимости компонентов горной массы карьера изображены на едином графике (рисунок 1).

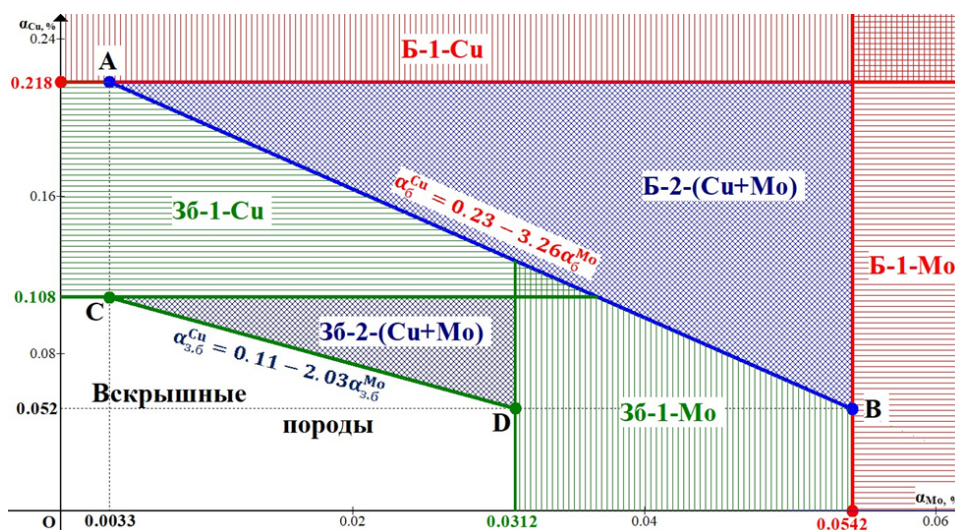


Рисунок 1 – Карта границ областей экономической значимости компонентов горной массы карьера

В первую очередь определены ключевые, для разграничения компонентов горной массы, содержания медно-молибденовой руды.

По формуле (14) определены бортовые содержания ( $K_k=1$ ) меди (0.218%) и молибдена (0.0542%) балансовых запасов руды.

По формуле (17) определены требуемые средние содержания меди и молибдена в забалансовых рудах, с максимальным ожидаемым сроком ( $\tau=50$  лет) их перевода в балансовые запасы. На основе полученных верхних пределов (бортовые содержания балансовых запасов) и требуемых средних содержаний ценных компонентов в забалансовой руде, методом вариантов определены нижние пределы (бортовые содержания забалансовых запасов руды) содержаний меди (0.108%) и молибдена (0.0312%).

По формуле (7) определены неизвлекаемые содержания (отвальные хвосты) меди (0.052%) и молибдена (0.0033%) в перерабатываемой руде.

На основе полученных содержаний выделена область с доказанной положительной экономической значимостью, которая состоит из участков с балансовыми запасами по извлекаемой ценности одного компонента руды (Б-1-Сu, Б-1-Мо) и по сумме извлекаемых ценностей обоих компонентов руды – Б-2-(Сu+Мо).

Далее, выделена область с потенциальной экономической значимостью. В ней аналогично выделены участки с забалансовыми запасами по извлекаемой ценности одного компонента руды (Зб-1-Сu, Зб-1-Мо) и забалансовыми запасами по сумме извлекаемых ценностей обоих компонентов руды – Зб-2-(Сu+Мо).

Также выделена область с отрицательной экономической значимостью – вскрышными породами.

В точках А и С извлекаемые ценности балансовой и забалансовой руды обеспечиваются только соответствующими бортовыми содержаниями по меди, так как извлекаемая ценность по молибдену с неизвлекаемыми содержаниями равна нулю. Аналогично, в точках В и D извлекаемая ценность руды по меди равна нулю.

Отрезок АВ представляет собой совокупность точек с координатами соответствующих содержаний металлов, обеспечивающих суммарную извлекаемую ценность балансовой руды, равную стоимостному выражению бортового содержания.

Отрезок CD полностью аналогичен отрезку АВ, но отражает границу двухкомпонентных забалансовых руд и вскрышных пород.

**10.** Графоаналитическим методом также представлены влияния качественно-количественных показателей обогащения руд на определение лимитов содержаний и конечных границ карьеров. В результате совместного представления полученных графоаналитических зависимостей представлена номограмма определения граничного коэффициента вскрыши в зависимости от значений качественных показателей обогащения руд.

В завершении, предложена номограмма совместной оптимизации качественно-количественных показателей добычи и переработки руд.

На основании всего изложенного материала, представлен общий алгоритм решения задач оптимального освоения месторождений при открытой геотехнологии. Данный алгоритм представлен в виде блок-схемы программы оптимального освоения запасов месторождения при открытой геотехнологии.

**ДЛЯ ЗАМЕТОК**

**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 2019 ГОДУ**

*Техническое редактирование и верстка Н.А. Вдовина, Н.А. Малышева*

---

Подписано в печать с оригинал-макета 04.08.2020 г. Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>8</sub>. Бумага «Мега Copy Office». Печать офсетная. Набор компьютерный. Объем 28,25 п. л. Тираж 100 экз. Заказ № 257.

---

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.